



TUGAS AKHIR - RE 141581

**ANALISIS PENURUNAN KUALITAS AIR PRODUKSI
INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) X
DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS* (FMEA)**

**NADIA FITRIANTI
3312100036**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.**

**Dosen Co-Pembimbing
Ir.Rr. Atiek Moesriati, MKes.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - RE 141581

**ANALYSIS OF PRODUCTION WATER QUALITY
REDUCTION IN X WATER TREATMENT PLANT
(WTP) USING FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS (FMEA)**

NADIA FITRIANTI
3312100036

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

Co-Supervisor
Ir.Rr. Atiek Moesriati, MKes.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENURUNAN KUALITAS AIR PRODUKSI INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

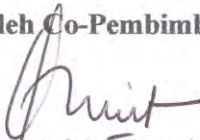
NADIA FITRIANTI
NRP 3312 100 036

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
195501281985032001

Disetujui Oleh Co-Pembimbing Tugas Akhir :



Ir. Rr. Atiek Moesriati, M.Kes.
195706021989032002



ANALISIS PENURUNAN KUALITAS AIR PRODUKSI INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) X MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Nama Mahasiswa : Nadia Fitrianti
NRP : 3312100036
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
Co-Dosen Pembimbing : Ir.Rr.Atiék Moesriati, M.Kes

ABSTRAK

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan perusahaan yang menyediakan dan mendistribusikan air minum untuk kebutuhan masyarakat. Pengolahan air adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki mutu air baku sampai menjadi mutu yang diinginkan dengan tujuan agar aman dipergunakan oleh masyarakat. Berdasarkan hasil penelitian, kandungan zat organik dalam air produksi IPAM X melebihi baku mutu. Analisis kualitas air produksi terkait kandungan zat organik dapat dilakukan dengan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA). *Failure Modes and Effect Analysis* adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi sehingga menyebabkan penurunan kualitas air produksi. Risiko terbesar yang menyebabkan kegagalan dinyatakan dalam *Risk Priority Number* (RPN). RPN digunakan untuk membantu menemukan bagian yang mengalami kegagalan sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk mengatasi penurunan kualitas air produksi.

IPAM X menjaga kualitas produksi air yang dihasilkan agar tidak mengalami penurunan. Analisis penurunan dapat dilakukan dengan FMEA. Penggunaan FMEA dilakukan untuk mencari bagian yang mengalami tingkat kegagalan terbesar dari unit yang tidak optimal. Identifikasi penyebab kegagalan dilakukan dengan menggunakan diagram *fishbone*. *Fishbone* dapat membantu menguraikan kegagalan yang terjadi sehingga dapat ditemukan akar permasalahan yang menjadi penyebab kegagalan. Akar permasalahan kemudian dinilai risikonya (RPN). Nilai RPN didapatkan dari perkalian antara *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). *Severity* merupakan tingkat keseriusan kegagalan, *occurrence* merupakan tingkat frekuensi terjadinya kegagalan dan *detection* merupakan tingkat kontrol yang dilakukan untuk mencegah kegagalan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter fisik (kekeruhan), parameter kimia (sisa klor dan zat

organik) dan parameter biologi (total koliform). Aspek yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspek teknis dan aspek lingkungan (dampak).

Sumber kegagalan dengan angka risiko terbesar dalam IPAM X adalah kecepatan transfer gas pada proses aerasi. Kecepatan transfer gas adalah banyaknya gas yang ditransfer dalam satuan waktu. Kecepatan transfer gas erat kaitannya dengan jumlah gas yang ditransfer. Jumlah gas yang ditransfer dapat memengaruhi penguraian zat. Usulan perbaikan yang seharusnya dilakukan untuk mengurangi risiko tersebut adalah peningkatan kecepatan transfer gas dengan penambahan aerasi dengan sistem difusi. Sistem aerasi yang sesuai untuk menguraikan zat organik adalah aerasi dengan sistem difusi. Aerator dengan sistem difusi dapat menguraikan zat organik dengan baik.

Kata Kunci: *failure mode and effect analysis, FMEA, IPAM, kualitas air minum, risk priority number*

ANALYSIS OF PRODUCTION WATER QUALITY REDUCTION IN X WATER TREATMENT PLANT USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Name of Student : Nadia Fitrianti
NRP : 3312100036
Study Programme : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
Co-Supervisor : Ir.Rr.Atiok Moesriati, M.Kes

ABSTRACT

PDAM is a company that provides and distributes drinking water for the community needs. Water treatment is an effort to treat the quality of raw water to be desired qualities in order to safely use by the community. Based on reasearch, organic matter in drinking water from IPAM X exceeds of quality standard. Organic matter analysis in drinking water can be achieved using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) method. Failure Modes and Effects Analysis is the method used to identify the failures that occurred, causing a decrease in treated water quality. The greatest risk that caused the failure was expressed with Risk Priority Number (RPN). RPN is used to help find parts that have failed, so that parts can be improved to overcome the decline in treated water quality.

IPAM X maintaining the production treated water quality. Analysis of the decline can be done using FMEA method. FMEA is used to look for parts that have the greatest failure rate from un-optimal units. Identify the cause of the failure was done using a fishbone diagram. Fishbone can be used to explain the failure so the failure source(s) can be found. The source(s) of problem then assessed using RPN. RPN value obtained from multiplying the severity (S), occurance (O) and detection (D). Severity is the seriousness of the failure, Occurance is the frequency of occurrence, and Detection is the level of failure detection and a level of control to prevent failure. The parameters examined in this study are physical parameter (turbidity), chemical parameter (residual chlorine and organic matter) and biological parameter (Total coliform). Technical and environmental aspects (impact) were used as examined aspects in this study.

Source of failure with the greatest risk value in IPAM X was the rate transfer oxygen in aeration process. The rate transfer oxygen is the amount of gas transferred in a time. Rate transfer gas was

related to the amount of gas transferred. The amount of gas transferred can influence decomposition substance. Proposed improvements that should be done to reduce that risk by adding diffusion aerator to increase rate transfer oxygen. The system aeration that suitable for decomposition organic matter is diffusion aerator. Removal organic matter in diffusion aerator is good enough.

Keyword(s): *failure mode and effect analysis, FMEA, WTP, drinking water quality, risk priority number*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengertian Air Minum	3
2.2 Sumber Air	3
2.3 Kualitas Air Minum	4
2.4 Pengolahan Air Minum	8
2.5 Metode FMEA	10
2.5.1 Terminologi FMEA	11
2.5.2 Manfaat Metode FMEA	12
2.5.3 Langkah Penggunaan Metode FMEA	12
2.6 Diagram Sebab Akibat (<i>Fishbone</i>)	15
2.6.1 Pengertian Diagram Sebab Akibat (<i>Fishbone</i>)	15
2.6.2 Langkah Penyusunan Diagram <i>Fishbone</i>	16
BAB III	19
METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Deskripsi Umum	19
3.2 Kerangka Penelitian	19
BAB IV	25
GAMBARAN UMUM	25
4.1 Gambaran IPAM X	25
BAB V	31
HASIL DAN PEMBAHASAN	31

5.1	Kualitas Air IPAM X	31
5.1.1	Analisis Kekeruhan	31
5.1.2	Analisis Bakteri	37
5.1.3	Analisis Sisa Klor	38
5.1.4	Analisis Zat Organik.....	39
5.2	Diagram Fishbone	39
5.2.1	Bak Aerasi.....	40
5.2.2	Bak Prasedimentasi.....	42
5.2.3	Bak Flashmix	44
5.2.4	Bak <i>Clearator</i>	46
5.3	Penentuan Bobot Kepentingan Risiko.....	48
5.4	Penggunaan Metode FMEA	50
5.4.1	Penentuan <i>Severity</i>	50
5.4.2	Penentuan <i>Occurance</i>	70
5.4.3	Penentuan <i>Detection</i>	72
5.5	Usulan Perbaikan	76
BAB VI		79
KESIMPULAN.....		79
6.1	Kesimpulan	79
6.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN A		85
LAMPIRAN B		95
BIOGRAFI PENULIS		101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Penentuan <i>Severity</i>	13
Tabel 2.2 Kriteria Penentuan <i>Occurance</i>	13
Tabel 2.3 Kriteria Penentuan <i>Detection</i>	14
Tabel 2.4 Tabel FMEA.....	15
Tabel 5.1 Kekeruhan Air Baku.....	31
Tabel 5.2 Kekeruhan Aerasi.....	32
Tabel 5.3 Penyisihan Kekeruhan Pada Aerasi.....	33
Tabel 5.4 Kekeruhan Prasedimentasi	33
Tabel 5.5 Penyisihan Kekeruhan Pada Prasedimentasi	34
Tabel 5.6 Kekeruhan Clearator	34
Tabel 5.7 Penyisihan Kekeruhan Pada Clearator	35
Tabel 5.8 Kekeruhan Filter	36
Tabel 5.9 Penyisihan Kekeruhan Pada Filter.....	36
Tabel 5.10 Kekeruhan Air Produksi.....	37
Tabel 5.11 Analisis Bakteri Pada Air Produksi.....	38
Tabel 5.12 Pembobotan Faktor Risiko	48
Tabel 5.13 Deskripsi Skala Besar Risiko dan Skala Lingkungan..	51
Tabel 5.14 Batasan Kriteria Risiko Kecepatan Transfer Gas.....	52
Tabel 5.15 Batasan Kriteria Jarak Antar <i>Stage</i>	53
Tabel 5.16 Batasan Kriteria Risiko Tinggi Jatuhan	54
Tabel 5.17 Batasan Kriteria Risiko Debit.....	55
Tabel 5.18 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal	56
Tabel 5.19 Batasan Kriteria Bilangan Reynold (Prasedimentasi) ..	57
Tabel 5.20 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Froude	58
Tabel 5.21 Batasan Kriteria Beban Permukaan	59
Tabel 5.22 Batasan Kriteria Risiko Gradien Kecepatan	60
Tabel 5.23 Batasan Kriteria Risiko Debit.....	61
Tabel 5.24 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal	62
Tabel 5.25 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Reynold (<i>Flashmix</i>) ..	63
Tabel 5.26 Batasan Kriteria Risiko Gradien Kecepatan	64
Tabel 5.27 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Reynold.....	65
Tabel 5.28 Batasan Kriteria Risiko <i>Solid Loading Rate</i>	66
Tabel 5.29 Batasan Kriteria Risiko OFR	67
Tabel 5.30 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal (Clearator).....	68
Tabel 5.31 Kategori dan Interval <i>Severity</i>	68

Tabel 5.32 Penilaian <i>Severity</i> Pada Bak Aerasi.....	69
Tabel 5.33 Penilaian <i>Severity</i> Pada Bak Prasedimentasi	69
Tabel 5.34 Penilaian <i>Severity</i> Pada Bak <i>Flashmix</i>	69
Tabel 5.35 Penilaian <i>Severity</i> Pada Bak <i>Clearator</i>	70
Tabel 5.36 Batasan Kriteria Penilaian Occurance.....	70
Tabel 5.37 Penilaian <i>Occurance</i> Pada Bak Aerasi	71
Tabel 5.38 Penilaian <i>Occurance</i> Pada Bak Prasedimentasi.....	71
Tabel 5.39 Penilaian <i>Occurance</i> Pada Bak <i>Flashmix</i>	71
Tabel 5.40 Penilaian <i>Occurance</i> Pada <i>Clearator</i>	72
Tabel 5.41 Batasan Kriteria Penilaian Detection	72
Tabel 5.42 Penilaian <i>Detection</i> Pada Bak Aerasi.....	73
Tabel 5.43 Penilaian <i>Occurance</i> Pada Bak Prasedimentasi.....	73
Tabel 5.44 Penilaian <i>Detection</i> Pada Bak <i>Flashmix</i>	74
Tabel 5.45 Penilaian <i>Detection</i> Pada Clearator	74
Tabel 5.46 Nilai RPN Untuk Setiap Risiko	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 IPAM X	8
Gambar 2.2 Diagram <i>Fishbone</i>	17
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	20
Gambar 4.1 <i>Intake</i> IPAM	25
Gambar 4.2. Aerasi pada IPAM.....	26
Gambar 4.3 Prasedimentasi Pada IPAM	26
Gambar 4.4. Clearator Pada IPAM	28
Gambar 4.5. Filter pada IPAM	28
Gambar 5.1 Diagram <i>Fishbone</i> Unit Aerasi	41
Gambar 5.2 Diagram <i>Fishbone</i> Unit Prasedimentasi.....	42
Gambar 5.3 Diagram <i>Fishbone</i> Unit <i>Flashmix</i>	44
Gambar 5.4 Diagram <i>Fishbone</i> Unit Clearator.....	46
Gambar 5.5 Aerator sistem difusi	77

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan air adalah suatu usaha teknis yang dilakukan untuk memberikan perlindungan pada sumber air dengan perbaikan mutu asal air sampai menjadi mutu yang diinginkan dengan tujuan agar aman dipergunakan oleh masyarakat pengonsumsi air minum. Secara umum tahap-tahap dari proses pengolahan air terdiri dari aerasi, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, desinfeksi dan reservoir. (Narita dkk.,2011). Instalasi Pengolahan Air Minum dibangun untuk melayani kebutuhan air bersih masyarakat. Kualitas air produksi yang dihasilkan IPAM harus sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan (PERMENKES) Nomor 492 Tahun 2010.

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X mulai beroperasi tahun 2009 hingga saat ini dengan kapasitas produksi sebesar 2.000 liter/detik. Proses pengolahan air bersih di IPAM X mengacu pada PERMENKES Nomor 492 tahun 2010, yang didalamnya terdapat syarat-syarat air hasil pengolahan penjernihan agar dapat dikonsumsi layaknya air minum. Berdasarkan hasil pemeriksaan pada kualitas air produksi IPAM X menunjukkan kadar zat organik dan sisa klor tidak memenuhi baku mutu. Kadar zat organik dalam air produksi sebesar 31,60 mg/L KMnO_4 . Kadar sisa klor dalam air produksi sebesar 0 mg/L Cl_2 .

Analisi terkait kandungan zat organik pada air produksi IPAM X dapat dilakukan dengan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA). Metode FMEA perlu dilakukan guna memeriksa penyebab kegagalan yang terjadi pada proses produksi, mengevaluasi prioritas risiko, membantu menentukan tindakan perbaikan menghilangkan atau mengurangi terjadinya kegagalan pada proses produksi (Firdaus, 2010). Penilaian risiko berdasarkan skala *Risk Priority Number* (RPN) yaitu tingkat frekuensi kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*) untuk mencari nilai RPN tertinggi. Nilai RPN

tertinggi dijadikan dasar penentuan prioritas tindakan perbaikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah yang mendasar pada penelitian ini

1. Apakah sumber kegagalan dalam sistem produksi yang menyebabkan penurunan kualitas air PDAM X?
2. Apakah sumber kegagalan terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang ditimbulkan?
3. Apakah perbaikan yang dapat dilakukan pada PDAM X?

1.3 Tujuan

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi sumber kegagalan dalam sistem produksi yang menyebabkan penurunan kualitas air PDAM X
2. Menganalisis risiko kegagalan terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang ditimbulkan
3. Memberikan usulan perbaikan yang dapat dilakukan oleh PDAM X

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini meliputi

1. Sampel air yang digunakan berasal dari air baku, outlet aerasi, prasedimentasi, clearator, dan reservoir IPAM X
2. Parameter air minum yang diidentifikasi yaitu kekeruhan, zat organik, sisa klor dan total coliform.
3. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah aspek teknis dan aspek dampak.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah perusahaan khususnya Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) X dapat mengidentifikasi sumber kegagalan sehingga dapat mengurangi kegagalan dalam sistem produksi. Selain itu, perusahaan juga dapat mencegah timbulnya kegagalan sehingga dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas untuk memenuhi dan menghasilkan kepuasan dari pelanggan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air Minum

Air sebagai salah satu kebutuhan utama untuk menunjang kehidupan manusia memiliki risiko berupa adanya penyakit bawaan air (*water borne disease*). Oleh karena itu, salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam penyelenggaraan penyediaan air minum harus memperhatikan pencegahan terhadap penyakit bawaan air (Slamet, 1996).

Air minum merupakan salah satu kebutuhan yang sangat mendasar bagi manusia karena diperlukan terus-menerus dalam kegiatan sehari-harinya untuk bertahan hidup. Oleh karena itu, manusia memerlukan sumber air minum yang diperoleh dari air tanah dan air permukaan. Namun tidak semua air baku dapat digunakan manusia untuk memenuhi kebutuhan air minum, hanya air baku yang memenuhi persyaratan kualitas air minum yang dapat digunakan untuk air minum (Meidhitasari, 2007). Pemantauan terhadap kualitas air minum merupakan salah satu hal penting yang menjadi sasaran untuk memenuhi kesehatan di suatu negara (Ince dan Howard, 1999).

2.2 Sumber Air

Sumber air baku (*intake*) merupakan awal dari proses pengolahan air minum sehingga kualitasnya sangat berperan penting terhadap teknologi dan tahapan pengolahan yang dipilih. Sumber-sumber air baku dalam penyediaan air minum (Sutrisno, 2002):

1. Air tanah

- a. Mata air adalah air tanah yang muncul ke permukaan memiliki kualitas yang sama seperti air tanah dalam, kualitas air tanah dalam tidak dipengaruhi oleh musim.
- b. Air tanah dangkal adalah air jernih yang berasal dari hasil peresapan air dari permukaan tanah dengan melalui berbagai lapisan tanah yang berfungsi sebagai saringan (*filter*).

- c. Air tanah dalam adalah air tanah pada kedalaman lapisan antara 100-300 m dengan tekanan cukup sehingga menyembur ke permukaan (sumur artesis).
2. Air permukaan merupakan air yang mudah didapatkan karena terletak di permukaan bumi namun dari segi kualitas lebih kotor karena mendapat pengotor selama pengalirannya.
3. Air laut merupakan air yang mengandung kadar NaCl 3% sehingga tidak dapat dijadikan sumber air baku tanpa adanya pra-pengolahan terlebih dahulu.
4. Air atmosfer berupa air hujan yang dalam keadaan murni sangat bersih namun selama prosesnya sebelum menjadi hujan mendapatkan pengotor udara yang menyebabkan kualitasnya berubah.

2.3 Kualitas Air Minum

Sesuai dengan ketentuan badan dunia (WHO), layak tidaknya air untuk kehidupan manusia ditentukan berdasarkan persyaratan kualitas secara fisik, secara kimia dan secara biologis.

1. Persyaratan kualitas secara fisik
 - a. Kekeruhan

Kekeruhan air dapat ditimbulkan oleh adanya bahan - bahan organik dan anorganik seperti lumpur dan buangan yang menyebabkan air sungai menjadi keruh. Kekeruhan walaupun hanya sedikit dapat menyebabkan perubahan warna menjadi lebih tua dari warna sesungguhnya (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

Air yang mengandung kekeruhan tinggi akan mengalami kesulitan bila diproses untuk sumber air minum. Kesulitannya antara lain dalam proses penyaringan. Walaupun proses penyaringan dapat dilakukan akan memerlukan biaya yang lebih besar dan mungkin pula mahal. Hal lain yang tidak kalah pentingnya adalah bahwa air dengan kekeruhan tinggi akan sulit untuk didisinfeksi, yaitu proses pembunuhan terhadap kandungan mikroba yang tidak diharapkan. Tingkat kekeruhan dipengaruhi oleh pH air, kekeruhan pada air minum umumnya telah diupayakan sedemikian rupa sehingga air menjadi jernih (Suriawira, 1996).

Kekeruhan pada air dapat dideteksi dengan menggunakan alat turbidimeter dan untuk melihat macam zat terlarut yang penyebab kekeruhan tersebut digunakan *elektrolizer*. Dimana tujuan dari deteksi kekeruhan pada air adalah untuk mengetahui macam partikel penyebab pencemaran air yang di deteksi (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

b. Bau

Bau pada air dapat disebabkan karena benda asing yang masuk ke dalam air seperti bangkai binatang, bahan buangan, atau disebabkan karena proses penguraian senyawa organik oleh bakteri. Pada peristiwa penguraian senyawa organik yang dilakukan oleh bakteri tersebut dihasilkan gas-gas berbau menyengat dan beracun. Dari segi estetika, air yang berbau, apabila bau busuk seperti bau telur yang membusuk (misalnya oleh H_2S) ataupun air yang berasal secara alami, tidak dikehendaki dan tidak dibenarkan oleh peraturan yang berlaku. Pada air minum tidak boleh ada bau yang merugikan pengguna air (Pitojo dan Purwantoyo, 2002). Bau pada air minum dapat dideteksi dengan menggunakan hidung. Tujuan deteksi bau pada air minum yaitu untuk mengetahui ada tidaknya bau yang berasal dari air minum yang disebabkan oleh pencemar. Apabila air minum memiliki bau maka dapat dikategorikan sebagai air minum yang tidak memenuhi syarat dan kurang layak untuk dimanfaatkan sebagai air minum (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

c. Rasa

Rasa yang terdapat di dalam air baku dapat dihasilkan oleh kehadiran organisme seperti mikroalgae dan bakteri, adanya limbah padat dan limbah cair seperti hasil buangan dari rumah tangga dan kemungkinan adanya sisa – sisa bahan yang digunakan untuk disinfeksi misalnya klor. Timbulnya rasa pada air minum biasanya berkaitan erat dengan bau pada air tersebut. Pada air minum, rasa diupayakan agar menjadi netral dan dapat diterima oleh pengguna air (Suriawira, 1996).

Rasa pada air minum dapat dideteksi dengan menggunakan indera penyerap. Dimana tujuan dari deteksi rasa pada air minum adalah untuk mengetahui kelainan rasa air dari standar normal yang dimiliki oleh air, yaitu netral (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

d. Warna

Warna pada air terdiri dari warna asli dan warna tampak. Warna asli atau *true color* adalah warna yang disebabkan oleh substansi terlarut. Warna yang tampak atau *apparent color* adalah mencakup warna substansi yang terlarut berikut zat tersuspensi di dalam air tersebut. Warna air dapat ditimbulkan oleh ion besi, mangan, humus, biota laut, plankton dan limbah industri. Pada air minum disyaratkan tidak berwarna sehingga berupa air jernih (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

Deteksi warna air dapat dilakukan oleh indra penglihatan, deteksi ini akan lebih akurat jika dilanjutkan dengan deteksi kekeruhan. Apabila warna air tidak lagi bening, keruh atau tidak lagi jernih misalnya berwarna kecoklatan, dapat diduga air tersebut tercemar oleh besi. Air yang berwarna penyimpang dengan warna aslinya, tidak baik digunakan sebagai air minum. Adapun tujuan dari deteksi warna pada air minum ini adalah untuk mengetahui warna yang tampak pada air (Suriawira, 1996).

e. Temperatur

Kenaikan temperatur atau suhu di dalam badan air, dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut ($DO = \text{Dissolved Oxygen}$). DO yang terlalu rendah, dapat menimbulkan bau yang tidak sedap akibat terjadinya degradasi atau penguraian bahan-bahan organik maupun anorganik di dalam air secara anaerobik. Keberadaan kadar residu atau sisa zat organik yang tinggi di dalam air menyebabkan rasa yang tidak enak dan dapat mengganggu pencemaran makanan (Suriawira, 1996).

2. Persyaratan kualitas secara kimia

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 tercantum sebanyak 33 macam unsur standar. Beberapa unsur – unsur tersebut tidak dikehendaki kehadirannya pada air minum karena merupakan zat kimia yang beracun, dapat merusak perpipaan, atau karena sebagai penyebab bau/rasa yang akan mengganggu estetika. Bahan-bahan tersebut adalah nitrit, sulfida, ammonia, dan CO_2 . Beberapa unsur – unsur meskipun dapat bersifat racun, masih dapat ditolerir kehadirannya dalam air minum asalkan

tidak melebihi konsentrasi yang ditetapkan. Unsur/bahan-bahan tersebut adalah phenolik, arsen, selenium, *chromium*, *cyanida*, cadmium, timbal dan air raksa (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

Kualitas atau persyaratan air secara kimia yaitu zat kimia organik dan zat kimia anorganik. Kedua zat tersebut ditekan volume dan konsentrasinya sampai batas terendah sehingga apabila terdapat dalam air tidak membahayakan pengguna air minum. Keberadaan komponen pencemar kimia tersebut diukur atas tingkat toksisitasnya terhadap kesehatan manusia. Karena bahan-bahan kimia itu pada umumnya mudah larut dalam air, maka tercemarnya air oleh bahan-bahan kimia yang terlarut khususnya timbal perlu dinilai kadarnya untuk mengetahui sejauh mana bahan – bahan terlarut tersebut dikatakan membahayakan eksistensi organisme maupun mengganggu kesehatan manusia. Bagi air minum khususnya, persyaratan kimia yang memiliki hubungan dengan pengaruh toksisitas harus lebih diperhatikan karena dampaknya dapat menimbulkan keracunan (Suriawira, 1996).

3. Persyaratan kualitas secara biologis

a. Bakteri

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme yang penting pada pengolahan air. Bakteri adalah jasad renik yang sederhana, tidak berwarna, dan satu sel. Bakteri berkembang biak dengan cara membelah diri, setiap 15-30 menit pada lingkungan yang ideal. Bakteri dapat bertahan hidup dan berkembang biak dengan cara memanfaatkan makanan yang terlarut dalam air. Bakteri tersebut berperan dalam dekomposisi unsur organik dan menstabilkan buangan organik. Bakteri yang mendapatkan perhatian di dalam air minum terutama adalah bakteri *Escherichia coli* yaitu koliform yang dijadikan indikator dalam penentuan kualitas air minum (Pitojo dan Purwantoyo, 2002).

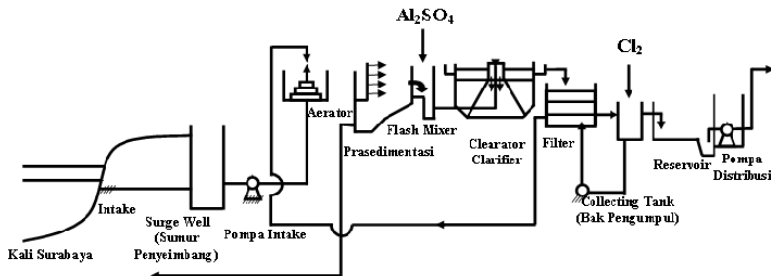
b. Virus

Virus adalah berupa makhluk yang bukan organisme sempurna, antara benda hidup dan tidak hidup, berukuran sangat kecil antara 20-100 nm atau sebesar 1/50 kali ukuran bakteri. Perhatian utama virus pada air minum adalah terhadap kesehatan masyarakat, karena walaupun hanya 1

virus mampu menginfeksi dan menyebabkan penyakit. Virus berada dalam air bersama tinja yang terinfeksi, sehingga menjadi sumber infeksi. (Suriawira, 1996).

2.4 Pengolahan Air Minum

Pengolahan air minum digunakan untuk memperbaiki kualitas air. Berikut merupakan bagan dari sistem pengolahan air minum IPAM X dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah (Narita dkk.,2011).



Gambar 2.1 IPAM X
(Sumber: Narita dkk., 2011)

1. Intake

Intake adalah proses pemompaan air baku sungai untuk dialirkan ke dalam sumur penyeimbang. Bangunan ini dilengkapi pipa barrier berupa pipa terapung untuk mencegah kotoran besar terapung agar tidak masuk ke saluran *intake* karena dapat merusak pompa *intake*. (Damayanti, 2012).

2. Sumur penyeimbang

Sumur penyeimbang berfungsi untuk mengatur keseimbangan aliran air baku yang mengalir ke masing-masing pompa intake IPAM. Pada unit ini terjadi subsidi pasokan air baku apabila terjadi kekurangan atau kelebihan (Damayanti, 2012).

3. Aerator

Aerator berfungsi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) dalam air baku. Peningkatan kadar oksigen terlarut ini berguna untuk menurunkan kadar besi, mangan, bahan organik, ammonia, dan sebagainya (Narita dkk.,2011).

4. Prasedimentasi

Prasedimentasi berfungsi untuk mengendapkan partikel diskrit yang terlarut dalam air baku seperti kerikil, pasir dan partikel yang cukup kasar tanpa penambahan bahan kimia. Partikel diskrit adalah partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk dan ukuran selama mengendap di dalam air. Selain itu, unit ini dilengkapi *scraper* yang berfungsi membersihkan lumpur yang terendapkan pada dasar bak (Damayanti, 2012).

5. *Flashmix*

Flashmix adalah unit pengadukan cepat yang berfungsi untuk melarutkan koagulan berupa tawas atau PAC ke dalam air hingga homogen. Sistem pengadukan dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jumper* (Damayanti, 2012).

6. *Clearator*

Pada *clearator* inilah proses flokulasi dan sedimentasi terjadi. Flokulasi adalah proses pembentukan flok setelah air baku ditambahkan koagulan pada bak pengaduk cepat. (Damayanti, 2012). Setelah pencampuran ini, akan terjadi destabilisasi koloid pada air baku. Koloid yang sudah kehilangan muatannya atau terdestabilisasi mengalami tarik menarik sehingga cenderung untuk membentuk gumpalan yang lebih besar (Narita dkk.,2011).

7. *Filter*

Filter merupakan bangunan untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi dan koloidal dengan cara menyaringnya melalui media filter (Narita dkk.,2011).

8. Desinfeksi

Desinfeksi air minum bertujuan membunuh bakteri patogen yang ada dalam air. Desinfeksi air dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu pemanasan, penyinaran antara lain dengan sinar UV, ion-ion logam antara lain dengan copper dan silver, asam atau basa, senyawa-senyawa kimia, dan klorinasi (Narita dkk.,2011).

9. Reservoir

Reservoir pada sistem IPAM ini adalah untuk menampung air hasil pengolahan sebelum didistribusikan ke konsumen dalam sistem distribusi (Narita dkk.,2011).

2.5 Metode FMEA

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode yang akurat dalam mengidentifikasi kegagalan produk atau sistem, frekuensi kegagalan, dan potensi penyebab kegagalan (Sellapan dan Astuti, 2012). FMEA berfokus pada identifikasi *severity* dan kegagalan yang paling kritis. FMEA menggunakan pendekatan *bottom up* yaitu pemeriksaan pada proses produksi tingkat awal dan mempertimbangkan hasil seluruh kegagalan sistem yang terjadi. Terdapat dua penggunaan FMEA yaitu dalam bidang desain dan proses (Octavia, 2010).

1. Desain FMEA (DFMEA)

Adalah suatu analisa teknik untuk memahami potensial kegagalan pada desain produk. Asumsi dibuat bahwa produksi sudah membuat produk sesuai desain, akan tetapi produk masih tidak berfungsi atau tidak berfungsi optimal. Kegagalan pada desain produk dapat berupa

- Produk tidak berfungsi maksimal
- Produk tidak dapat bekerja pada kondisi tertentu
- Produk dibuat dengan tingkatan *reject* yang tinggi
- Produk sulit untuk dibuat atau *diassembly* (*design for manufacturability and design assembly*)

Desain FMEA selain mempertimbangkan kegagalan pada produk, juga mempertimbangkan :

- Keterbatasan / kemampuan *manufacturing* dan *assembly*, seperti misalnya : keterbatasan ruang untuk melakukan *assembly*, keterbatasan / kemampuan mesin
- Keterbatasan / kemudahan *service* dan *recycle* produk, misalnya : ruang untuk akses *tooling* untuk perbaikan. Kemampuan *diagnostic*, klasifikasi material (untuk kepuasan *recycle*)

2. Proses FMEA

Adalah suatu analisa teknik untuk memahami potensial kegagalan pada proses produksi. Asumsi dibuat

bahwa desain produk sudah baik akan tetapi proses produksi gagal memenuhi tuntutan atau persyaratan pada desain. Misalnya :

- Diameter lubang kebesaran
- Pelapisan yang kurang
- Kekerasan material kurang, dll

2.5.1 Terminologi FMEA

FMEA merupakan suatu *tool* penilaian yang penting untuk mengevaluasi potensi kegagalan yang kritis ketika sebuah kegagalan terjadi. Dalam rangka menganalisa dari *failure mode* yang terjadi, perlu dipahami beberapa terminologi yang berhubungan dengan penggunaan FMEA. Terminologi tersebut adalah (Pillay dan Wang, 2003). :

1.Component

Komponen dari sistem atau alat yang yang dianalisa.

2.Potential failure mode

Potential failure mode menggambarkan sebuah produk atau proses bisa gagal untuk melaksanakan fungsi yang diperlukan sebagai gambaran keinginan, kebutuhan dan harapan dari internal dan eksternal *customer*.

Penting untuk mempertimbangkan dan mencatat setiap *potential failure mode* yang terjadi dibawah kondisi operasi tertentu dan dibawah kondisi pemakaian tertentu.

3.Failure Effect

Dampak atau akibat yang ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti disebutkan dalam *potential failure mode*. Dampak dari *failure* merupakan konsekuensi merugikan dari pengaruh *failure* tertentu yang mempengaruhi sistem atau subsistem lainnya. Beberapa *failure* dapat berdampak pada personal atau *environment safety* dan melanggar berbagai regulasi produk.

4. Severity (S)

Severity merupakan kuantifikasi keseriusan kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *Failure Effect*. Menurut tingkat keseriusan, *severity* dinilai pada skala 1 sampai 10.

5. Causes

Adalah penyebab terjadinya kegagalan pada komponen, subsistem atau sistem.

6. *Occurance* (O)

Tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Ditunjukkan dalam 10 *level* (1,2,...,10) dari yang hampir tidak pernah terjadi (1) sampai yang paling mungkin terjadi atau sulit dihindari (10).

7. *Detection* (D)

Menunjukkan tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dipasang. Levelnya juga dari 1-10, dimana angka 1 menunjukkan kemungkinan untuk lewat dari kontrol (pasti terdeteksi) sangat kecil, dan 10 menunjukkan kemungkinan untuk lolos dari kontrol (tidak terdeteksi) adalah sangat besar.

8. *Risk Priority Number* (RPN)

Merupakan hasil perkalian bobot dari *severity*, *occurance* dan *detection*.

2.5.2 Manfaat Metode FMEA

Beberapa manfaat penggunaan metode FMEA pada perusahaan (Firdaus, 2010),

- (1) Memeriksa penyebab cacat atau kegagalan yang terjadi pada proses produksi
- (2) Mengevaluasi prioritas risiko, dan membantu menentukan tindakan yang tepat untuk menghindari atau proses dan efeknya.
- (3) Membantu perekayasa untuk melakukan tindakan perbaikan atau tindak preventif.
- (4) Menghilangkan atau mengurangi terjadinya kegagalan.

2.5.3 Langkah Penggunaan Metode FMEA

Langkah Kerja dari penerapan metode FMEA (Firdaus, 2010),

1. Identifikasi klasifikasi produk cacat pada tiap tiap proses.
2. Penentuan nilai *Severity* (pengaruh) = S, *Occurent* (penyebab) = O dan *Detection* (deteksi) = D pada setiap proses. Kriteria nilai severity, occurrence dan deteksi dapat dilihat di Tabel 2.1 hingga 2.3.

Tabel 2.1 Kriteria Penentuan *Severity*

Dampak	Tingkat Keseriusan Dampak	Peringkat
Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan tidak didahului oleh peringatan	10
Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan tidak didahului oleh peringatan	9
Sangat tinggi	Produk tidak dapat dioperasikan	8
Tinggi	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja yang banyak berkurang	7
Sedang	Produk dapat dioperasikan tetapi sebagian item tambahan (fungsi sekunder) tidak dapat berfungsi	6
Rendah	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja yang sedikit berkurang	5
Sangat rendah	Cacat disadari oleh pelanggan (>75%)	4
Minor	Cacat disadari oleh pelanggan (50%)	3
Sangat minor	Cacat disadari oleh pelanggan (<25%)	2
Tidak ada	Tidak memiliki pengaruh	1

(Sumber: Carlson, 2012)

Tabel 2.2 Kriteria Penentuan *Occurance*

Probabilitas Kejadian Risiko	Frekuensi	Peringkat
Sangat Tinggi	100 per 1000 item	10
Tinggi	50 per item 1000 item	9
	20 per 1000 item	8
	10 per 1000 item	7
	5 per 1000 item	6
Sedang	2 per 1000 item	5
	1 per 1000 item	4
	0,5 per 1000 item	3
Rendah	0,5 per 1000 item	3

Probabilitas Kejadian Risiko	Frekuensi	Peringkat
	0,1 per 1000 item	2
Sangat rendah	0,01 per 1000 item	1

(Sumber: Gasperz, 2002)

Tabel 2.3 Kriteria Penentuan *Detection*

Kemungkinan Deteksi	Berdasarkan frekuensi kejadian	Peringkat
Pengontrol tidak dapat mendeteksi kegagalan	100 per 1000 item	10
Sangat jauh kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	50 per item 1000 item	9
Jarang kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	20 per 1000 item	8
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksai kegagalan sangat rendah	10 per 1000 item	7
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksai kegagalan rendah	5 per 1000 item	6
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sedang	2 per 1000 item	5
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan agak tinggi	1 per 1000 item	4
Kemungkinan pengontrol	0,5 per 1000 item	3

Kemungkinan Deteksi	Berdasarkan frekuensi kejadian	Peringkat
untuk mendeteksi kegagalan tinggi		
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat tinggi	0,1 per 1000 item	2
Kegagalan dalam proses tidak dapat terjadi karena telah dicegah melalui desain solusi	0,01 per 1000 item	1

(Sumber: Gasperz, 2002)

3. Menghitung RPN. $RPN = S \times O \times D$. Penentuan nilai RPN dapat dilihat di Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Tabel FMEA

Unit	Fungsi	Mode Kegagalan Potensial	Dampak Potensial Dari Kegagalan	Tingkat Keseriusan Kegagalan	Penyebab Potensial Dari Kegagalan	Tingkat Frekuensi Terjadinya Kegagalan	Pengend alian Kerusaka n	Kontrol Desain (Pengen dalian)	Kontrol Desain (Deteksi)	Tingkat Deteksi Kegagala n	RPN (Angka Prioritas Kegagalan)	Langkah Rekomen dasi

(Sumber: Carlson, 2012)

4. Mengambil tindakan (*action*) pada proses yang nilai RPN nya tinggi.

2.6 Diagram Sebab Akibat (*Fishbone*)

2.6.1 Pengertian Diagram Sebab Akibat (*Fishbone*)

Diagram *fishbone* merupakan suatu alat visual untuk mengidentifikasi, mengeksplorasi, dan secara grafik menggambarkan secara detail semua penyebab yang berhubungan dengan suatu permasalahan. Konsep dasar dari diagram *fishbone* adalah permasalahan mendasar diletakkan

pada bagian kanan dari diagram atau pada bagian kepala dari kerangka tulang ikannya (Scarvada dkk., 2004).

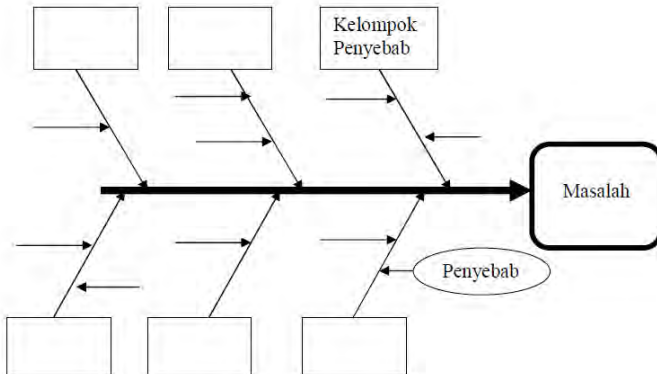
Penyebab permasalahan digambarkan pada sirip dan durinya. Kategori penyebab permasalahan yang sering digunakan sebagai *start* awal meliputi *materials* (bahan baku), *machines and equipment* (mesin dan peralatan), *manpower* (sumber daya manusia), *methods* (metode), *Mother Nature/environment* (lingkungan), dan *measurement* (pengukuran). Keenam penyebab munculnya masalah ini sering disingkat dengan 6M. Penyebab lain dari masalah selain 6M tersebut dapat dipilih jika diperlukan. Untuk mencari penyebab dari permasalahan, baik yang berasal dari 6M seperti dijelaskan di atas maupun penyebab yang mungkin lainnya dapat digunakan teknik *brainstorming* (Scarvada dkk., 2004).

Diagram *fishbone* ini umumnya digunakan pada tahap mengidentifikasi permasalahan dan menentukan penyebab dari munculnya permasalahan tersebut. Selain digunakan untuk mengidentifikasi masalah dan menentukan penyebabnya, diagram *fishbone* ini juga dapat digunakan pada proses perubahan. Diagram *fishbone* ini dapat diperluas menjadi diagram sebab dan akibat (*cause and effect diagram*) (Scarvada dkk., 2004). Perluasan (*extension*) terhadap Diagram *Fishbone* dapat dilakukan dengan teknik menanyakan “Mengapa sampai lima kali (*five whys*)” (Scarvada dkk., 2004).

2.6.2 Langkah Penyusunan Diagram *Fishbone*

Langkah-langkah dalam penyusunan Diagram *Fishbone* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuat kerangka Diagram *Fishbone*. Kerangka Diagram *Fishbone* meliputi kepala ikan yang diletakkan pada bagian kanan diagram. Kepala ikan ini nantinya akan digunakan untuk menyatakan masalah utama. Bagian kedua merupakan sirip, yang akan digunakan untuk menuliskan kelompok penyebab permasalahan. Bagian ketiga merupakan duri yang akan digunakan untuk menyatakan penyebab masalah. Bentuk kerangka Diagram *Fishbone* tersebut dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2.2 Diagram *Fishbone*
(Sumber: Scarvada dkk., 2004)

2. Merumuskan masalah utama. Masalah merupakan perbedaan antara kondisi yang ada dengan kondisi yang diinginkan (Robbins dan Coulter, 2012). Masalah juga dapat didefinisikan sebagai adanya kesenjangan atau gap antara kinerja sekarang dengan kinerja yang ditargetkan. Masalah utama ini akan ditempatkan pada bagian kanan dari Diagram *Fishbone* atau ditempatkan pada kepala ikan.

3. Langkah berikutnya adalah mencari faktor-faktor utama yang berpengaruh atau berakibat pada permasalahan. Langkah ini dapat dilakukan dengan teknik *brainstorming*. Penyebab permasalahan dapat dikelompokkan dalam enam kelompok yaitu *materials* (bahan baku), *machines and equipment* (mesin dan peralatan), *manpower* (sumber daya manusia), *methods* (metode), *Mother Nature/environment* (lingkungan), dan *measurement* (pengukuran) (Scarvada dkk., 2004). Gaspersz dan Fontana, 2011 mengelompokkan penyebab masalah menjadi tujuh yaitu *manpower* (SDM), *machines* (mesin dan peralatan), *methods* (metode), *materials* (bahan baku), media, *motivation* (motivasi), dan *money* (keuangan). Kelompok penyebab masalah ini kita tempatkan di Diagram *Fishbone* pada sirip ikan.

4. Menemukan penyebab untuk masing-masing kelompok penyebab masalah. Penyebab ini ditempatkan pada duri ikan.

Berikut disajikan contoh penyebab masalah rendahnya kualitas lulusan diklat.

a. Kelompok SDM.

Misalnya masalah SDM terkait dengan tenaga pengajar. Penyebab dari unsur tenaga pengajar ini adalah rendahnya kompetensi tenaga pengajar. Terdapat beberapa pengajar yang tidak sesuai dengan bidangnya.

b. Kelompok Material.

Terkait dengan diklat, penyebab bahan baku yang kurang baik adalah pertama kualitas kurikulum yang kurang baik. Kedua, bahan ajar banyak yang kurang *update* dengan perkembangan organisasi. Ketiga, tidak ada rencana pembelajaran dalam bentuk program pengajaran dan Satuan Acara Pembelajaran.

c. Kelompok mesin dan peralatan.

Penyebab masalah dari sisi mesin dan peralatan ada tiga yaitu kurang nyamannya ruangan kelas, tidak adanya ruangan untuk praktik, dan banyak komputer dan proyektor yang rusak.

d. Kelompok method.

Penyebab masalah dari sisi metode adalah kurangnya inovasi dalam model pembelajaran. Penyebab masalah ini dapat dirinci lebih lanjut dengan mencari penyebab dari penyebab masalah tersebut. Pendalaman lebih lanjut dari penyebab masalah ini dapat dilakukan sampai dengan lima level. Dapat digunakan metode *Five Whys* untuk pendalaman penyebab masalah ini.

5. Langkah selanjutnya setelah masalah dan penyebab masalah diketahui, kita dapat menggambarkannya dalam Diagram *Fishbone*.

BAB III

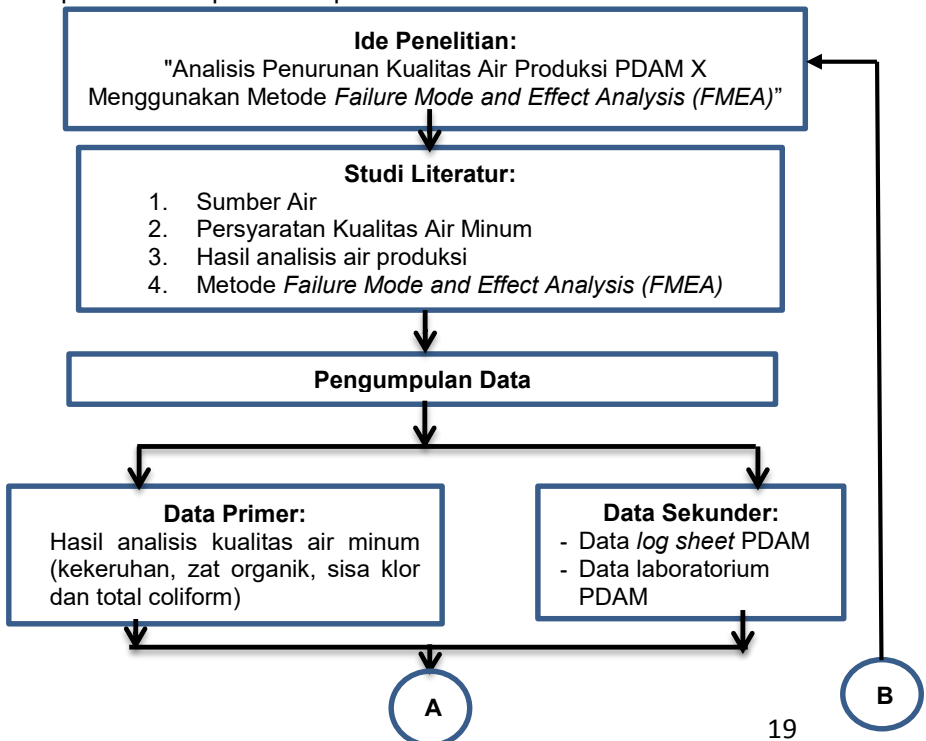
METODOLOGI PENELITIAN

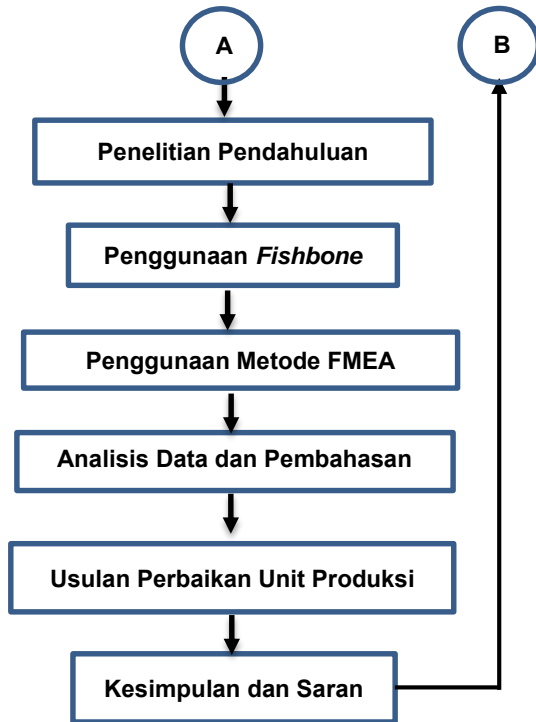
3.1 Deskripsi Umum

Metode penelitian digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui risiko kegagalan dalam sistem produksi yang menyebabkan penurunan kualitas dan mengetahui risiko kegagalan terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*) yang ditimbulkan.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian memuat garis besar langkah-langkah yang dilakukan didalam penelitian ini. Penyusunan langkah-langkah penelitian yang jelas dan sistematis dapat memudahkan pelaksanaan penelitian. Skema kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian berupa munculnya ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, penelitian pendahuluan, penggunaan *fishbone* dan FMEA.

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendukung jalannya penelitian mulai dari awal hingga akhir dan juga sebagai bekal dalam melaksanakan penelitian tersebut. Studi literatur merupakan acuan dalam menentukan dan memahami penelitian yang dilakukan, yang wajib dipelajari mulai dari tahap awal penelitian sampai dengan penarikan kesimpulan. Hal ini dilakukan dengan:

- Konsultasi dengan dosen terkait mengenai kinerja unit produksi.

- Mempelajari textbook dan Journal Internasional yang terkait dengan penelitian mengenai metode *Failure Mode and Effect Analysis*.
- Mempelajari hasil penelitian terbaru yang terkait dengan penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai acuan yang digunakan dalam penentuan parameter penelitian. Pengumpulan data dibagi menjadi 2 yaitu, data primer dan data sekunder.

- Data primer merupakan data hasil sampling yang telah dilakukan.
- Data sekunder, merupakan data yang didapatkan dari sumber-sumber terkait yang hasilnya dapat dipertanggung jawabkan. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penelitian dari Laboratorium IPAM X dan data *logsheet*.

3. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui parameter kualitas air produksi yang tidak memenuhi baku mutu. Keberadaan zat yang melebihi baku mutu dipengaruhi oleh kinerja unit yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan unit mana yang kurang optimal untuk dianalisis menggunakan metode FMEA. Penentuan parameter dari baku mutu untuk air minum Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu dari parameter fisik, parameter kimia, dan parameter biologi. Prosedur penelitian untuk analisis kekeruhan, zat organik, sisa klor dan total coli.

4. Penggunaan *Fishbone*

Parameter yang tidak memenuhi baku mutu kemudian dicari akar permasalahannya. Diagram *fishbone* digunakan untuk mengidentifikasi semua penyebab yang berhubungan dengan parameter yang tidak memenuhi baku mutu.

5. Prosedur FMEA

Tahapan yang harus dilakukan pada metode ini adalah sebagai berikut:

- Mengidentifikasi penyebab parameter yang tidak memenuhi baku mutu. Identifikasi penyebab dibantu dengan adanya *fishbone*.
- Mengidentifikasi akibat parameter yang tidak memenuhi baku mutu.

Pada tahap ini akan diidentifikasi akibat yang ditimbulkan dari unit yang kurang optimal.

- Mengidentifikasi pengendalian penurunan kualitas parameter yang tidak memenuhi baku mutu.

Pada tahap ini akan diidentifikasi kontrol yang dapat dilakukan untuk mengendalikan penurunan kinerja yang terjadi pada unit pengolahan.

- Menganalisis tingkat kepentingan dari penurunan kinerja yang menyebabkan parameter yang tidak memenuhi baku mutu.

Kepentingan untuk perbaikan dari penurunan kinerja unit dilakukan dengan cara melakukan observasi lapangan dan interview kepada karyawan IPAM X. Tingkat kepentingan dari suatu modus kerusakan dapat dilihat dari nilai *risk priority number* (RPN). Nilai RPN didapatkan dari analisis skala *severity, occurrence, dan detection*.

- a. Menganalisis tingkat keseriusan penurunan kinerja (*severity*)

Tingkat keseriusan penurunan kinerja digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan-kegagalan yang muncul. *Output* dari analisis ini adalah ditetapkannya penurunan kinerja yang berdampak paling besar terhadap kerusakan pada unit instalasi.

- b. Menganalisis tingkat frekuensi penurunan kinerja (*occurrence*)

Tingkat frekuensi penurunan kinerja digunakan untuk mengetahui seringnya penurunan kinerja terjadi dalam unit instalasi.

- c. Menganalisis tingkat kontrol penurunan kinerja (*detection*).

Tingkat kontrol penurunan kinerja digunakan untuk mengetahui penurunan kinerja apa saja yang mempunyai tingkat pengendalian yang paling sulit untuk dideteksi atau diperbaiki.

- Perhitungan nilai *risk priority number*
Pada tahap ini dilakukan perhitungan *risk priority number* (RPN). Nilai RPN diperoleh dari perkalian antara skala *severity*, *occurrence*, dan skala *detection*, atau $RPN = severity \times occurrence \times detection$. Output dari RPN berupa prioritas perbaikan yang harus dilakukan oleh perusahaan dari penurunan kinerja instalasi.
- Penentuan tingkat prioritas perbaikan
Mengidentifikasi *potential failure mode* yang perlu diprioritaskan untuk dianalisis dan ditindaklanjuti dapat dilihat dari nilai RPN-nya. *Potential failure mode* dengan RPN tertinggi akan diprioritaskan untuk dianalisis dan ditindaklanjuti.

6. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh selama pelaksanaan penelitian berdasarkan pada studi literatur. Pembahasan yang dibuat dari hasil analisis ditampilkan dalam bentuk tabel atau grafik serta dianalisis secara deskriptif. Tabel dan grafik yang disajikan berupa:

- Tabel penelitian setiap parameter
- Grafik efisiensi pada setiap unit

Sehingga dapat diketahui kegagalan yang dapat menimbulkan risiko penurunan kualitas air.

7. Usulan Perbaikan Produk

Usulan perbaikan produk didapatkan dari nilai RPN tertinggi, usulan ini digunakan untuk mengurangi angka pada RPN agar penurunan kinerja tidak menimbulkan penurunan kualitas air produksi dikemudian hari.

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran, didapatkan dari penelitian yang dilakukan. Kesimpulan menjawab tujuan penelitian yang hendak dicapai, sedangkan saran dapat digunakan sebagai masukan untuk menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan.

BAB IV

GAMBARAN UMUM

4.1 Gambaran IPAM X

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X dibangun pada tahun 2009 dengan debit produksi sebesar 2000 liter/detik. Air baku yang diolah di IPAM X berasal dari sungai. Kualitas air sungai yang digunakan merupakan kelas 2. Air dari sungai kemudian diolah di unit pengolahan. Unit-unit pengolahan yang digunakan di IPAM X antara lain Intake, Aerator, Prasedimentasi, *Flashmix*, Clearator, Filter, Desinfeksi. Berikut ini adalah detail penjelasan setiap unit sebagai berikut,

1. *Intake*

Intake adalah tempat pengambilan air baku yang terletak di pinggir sungai. Terdapat pelampung di *intake* yang berfungsi untuk menghalangi sampah yang mengapung untuk masuk dalam pengolahan air.



Gambar 4.1 *Intake* IPAM
(Sumber: Hasil penelitian)

2. Aerasi

Aerasi yang ada di IPAM X merupakan aerasi yang berbentuk cascade (tangga) bundar. Unit ini berfungsi menambah oksigen terlarut (Dissolved Oxygen) pada air baku. Aerator yang dipasang sebanyak 2 buah berbentuk lingkaran dengan diameter 12 m dan kedalaman bak aerasi 2 m.



Gambar 4.2. Aerasi pada IPAM
(Sumber: Hasil penelitian)

3. Prasedimentasi
Prasedimentasi pada IPAM X yang ada berbentuk *rectangular*. Prasedimentasi adalah unit bangunan yang berfungsi untuk mengendapkan material-material diskrit (kasar) seperti pasir, lempung, dan lumpur berat yang terlarut dalam air baku. Jumlah prasedimentasi yang ada di IPAM X sebanyak 4 buah dengan dimensi panjang 80 m, lebar 15 m dan kedalaman 4 m.



Gambar 4.3 Prasedimentasi Pada IPAM
(Sumber: Hasil penelitian)

4. *Flashmix*

Pada IPAM X proses pengadukan cepat (*flashmix*) ini dilakukan dengan *Hydraulic jump Mixing*. *Hydraulic jump Mixing* merupakan pengadukan cepat secara hidrolis. Unit pengaduk cepat hidrolisis ini menggunakan jenis pengaduk statis.

Pengadukan jenis ini memanfaatkan energi dalam aliran yang menghasilkan nilai gradien kecepatan (G) yang tinggi, serta tidak perlu mengimpor peralatan, mudah dioperasikan, dan pemeliharaan yang minimal (Schultz dkk., 1984). Pada bangunan ini, bahan kimia (koagulan) yang berasal dari tawas cair ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) diinjeksikan secara grafitasi melalui pipa PVC Dn 75 cm. Jumlah bak *flashmix* yang ada sebanyak 2 buah dengan bentuk *rectangular* berdimensi panjang 4 m, lebar 3 m dan kedalaman 2,7 m.

5. *Clearator*

Pada IPAM X unit flokulasi dan sedimentasi digabungkan menjadi unit *clearator*. Proses flokulasi terjadi pada pipa difuser dan unit tersebut berbentuk bundar yang berguna untuk proses pencampuran antara bahan flokulan *polielectrolyte* (polimer) dengan air baku sehingga flok yang terbentuk lebih besar dan mudah mengendap. Proses pengendapan berlangsung pada unit *clearator*. Unit ini berjumlah 4 buah dengan bentuk kerucut berdimensi atas 23 m, dimensi bawah 3 m dan kedalaman 5,75 m. Bentuk kerucut berada di bagian bawah *clearator* untuk memberi kesempatan flok yang telah terbentuk untuk mengendap. Unit sedimentasi juga dilengkapi zona lumpur yang dioperasikan secara otomatis.



Gambar 4.4. Clearator Pada IPAM
(Sumber: Hasil penelitian)

6. Filter

Proses penyaringan berlangsung pada unit filter yang terdiri dari 14 unit saringan pasir cepat (*Rapid Sand Filter*) dengan 2 jenis media penyaring yaitu antrasit, dan pasir silika, serta *gravel* sebagai media penyangga. Dimensi filter dengan panjang 10 m, lebar 6 m dan kedalaman 2 m.



Gambar 4.5. Filter pada IPAM
(Sumber: Hasil penelitian)

7. Desinfeksi
Penambahan desinfektan dilakukan pada saluran setelah filter dengan menggunakan gas klor. Selain itu juga dilakukan penginjeksian gas klor pada unit reservoir yang dilengkapi dengan peralatan pengontrol (*vacum chlorinator*) sehingga penginjeksian dapat diatur sesuai dengan dosis yang telah ditentukan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kualitas Air IPAM X

Air minum yang diproduksi oleh IPAM X harus memenuhi baku mutu air minum yang telah ditetapkan. Baku mutu air minum yang telah ditetapkan oleh pemerintah merupakan Peraturan Menteri Kesehatan Nomer 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Analisis dilakukan dalam periode 08 Maret – 18 Maret 2016 di Laboratorium IPAM X. Beberapa parameter yang dianalisis yaitu kekeruhan, zat organik, total koliform, dan sisa klor.

5.1.1 Analisis Kekeruhan

Kekeruhan air dapat ditimbulkan oleh adanya bahan-bahan organik dan anorganik seperti lumpur dan buangan yang menyebabkan air sungai menjadi keruh (Pitojo dan Purwantoyo, 2002). Kekeruhan pada air dihilangkan dengan proses pengendapan secara gravitasi pada prasedimentasi, kemudian dibubuhkan alum dan diendapkan pada clearator.

Kekeruhan air baku pada saat penelitian sebesar 70 - 320 NTU. Kekeruhan air baku cukup tinggi disebabkan adanya endapan yang ikut terlarut akibat besarnya debit air sungai pada saat musim hujan. Kekeruhan air baku dapat dilihat di Tabel 5.1

Tabel 5.1 Kekeruhan Air Baku

Tanggal	Kekeruhan Air Baku (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	318,0	331,0	324,5
10-Mar-16	185,0	185,0	185,0
11-Mar-16	204,0	202,0	203,0
14-Mar-16	227,0	232,0	229,5
15-Mar-16	123,0	122,0	122,5
16-Mar-16	129,0	128,0	128,5
17-Mar-16	72,0	71,5	71,8
18-Mar-16	130,0	135,0	132,5

(Sumber: Hasil penelitian)

Kekeruhan aerasi pada saat penelitian sebesar 80-500 NTU. Kekeruhan pada aerasi dapat dilihat di Tabel 5.2. Kekeruhan aerasi lebih tinggi dari kekeruhan air baku pada tanggal 14 Maret – 18 Maret. Aerasi berfungsi untuk menaikkan oksigen terlarut dalam air. Peningkatan kadar oksigen terlarut ini berguna untuk menurunkan kadar besi, mangan, bahan organik, ammonia, dan sebagainya (Narita dkk.,2011). Proses peningkatan oksigen terlarut ini menyebabkan beberapa zat seperti besi dan mangan menjadi teroksidasi. Oksidasi zat tersebut dilakukan agar senyawa memiliki valensi lebih tinggi sehingga tidak larut dalam air dan dapat mudah dipisahkan secara fisik (Said, 2005).

Tabel 5.2 Kekeruhan Aerasi

Tanggal	Kekeruhan Aerasi (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	282,0	272,0	277,0
10-Mar-16	232,0	235,0	233,5
11-Mar-16	156,0	157,0	156,5
14-Mar-16	471,0	474,0	472,5
15-Mar-16	187,0	185,0	186,0
16-Mar-16	153,0	152,0	152,5
17-Mar-16	81,5	81,3	81,4
18-Mar-16	150,0	147,0	148,5

(Sumber: Hasil penelitian)

Penyisihan kekeruhan aerasi cenderung jelek, efisiensi tertinggi mencapai 22%. Penyisihan yang fluktuatif menunjukkan bahwa aerasi belum berjalan optimal. Penyisihan aerasi dapat dilihat di Tabel 5.3. Penyisihan kekeruhan aerasi beberapa kali mencapai angka 0, tidak menyisihkan kekeruhan. Hal ini disebabkan karena aerasi tidak berfungsi sebagai unit untuk penurunan kekeruhan melainkan sebagai unit peningkatan oksigen terlarut dalam air. Peningkatan kekeruhan pada unit aerasi disebabkan besi dan mangan yang terlarut dalam air.

Tabel 5.3 Penyisihan Kekeruhan Pada Aerasi

Tanggal	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi (%)
	Air Baku	Aerasi	
08-Mar-16	324,5	277,0	14,6
10-Mar-16	185,0	233,5	0,0
11-Mar-16	203,0	156,5	22,9
14-Mar-16	229,5	472,5	0,0
15-Mar-16	122,5	186,0	0,0
16-Mar-16	128,5	152,5	0,0
17-Mar-16	71,8	81,4	0,0
18-Mar-16	132,5	148,5	0,0

(Sumber: Hasil penelitian)

Kekeruhan prasedimentasi pada saat penelitian sebesar 60 – 220 NTU. Kekeruhan prasedimentasi dapat dilihat di Tabel 5.4. Kekeruhan pada prasedimentasi lebih rendah dibandingkan dengan kekeruhan di aerasi. Hal ini disebabkan karena prasedimentasi merupakan unit untuk mengendapkan partikel diskrit yang terlarut dalam air baku seperti kerikil, pasir dan partikel yang cukup kasar tanpa penambahan bahan kimia (Damayanti, 2012). Partikel tersebut diendapkan secara gravitasi pada unit prasedimentasi.

Tabel 5.4 Kekeruhan Prasedimentasi

Tanggal	Kekeruhan Prasedimentasi (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	222,0	214,0	218,0
10-Mar-16	91,3	91,5	91,4
11-Mar-16	97,6	97,7	97,7
14-Mar-16	182,0	180,0	181,0
15-Mar-16	137,0	136,0	136,5
16-Mar-16	117,0	118,0	117,5
17-Mar-16	70,4	71,0	70,7
18-Mar-16	62,0	62,4	62,2

(Sumber: Hasil penelitian)

Penyisihan kekeruhan pada unit prasedimentasi cenderung fluktuatif sebesar 13 – 60 %. Penyisihan kekeruhan pada prasedimentasi dapat dilihat di Tabel 5.5. Penyisihan kekeruhan pada unit prasedimentasi sebesar 61,7% terjadi pada saat kekeruhan aerasi tinggi yaitu sebesar 472,5 NTU. Penyisihan kekeruhan pada unit prasedimentasi mengalami

penurunan yaitu sebesar 13,1% ketika kekeruhan aerator sebesar 81,4 NTU. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa menurunkan kekeruhan yang rendah lebih sulit dibandingkan menurunkan kekeruhan yang tinggi. Penyisihan yang fluktuatif menunjukkan bahwa prasedimentasi belum berjalan optimal. Kekeruhan yang rendah menunjukkan bahwa jarak antar partikel koloid menjadi cukup jauh (Widyaningsih dan Syafei, 2011). Jarak antar partikel yang jauh menyebabkan partikel sulit mengendap.

Tabel 5.5 Penyisihan Kekeruhan Pada Prasedimentasi

Tanggal	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi (%)
	Aerasi	Prasedimentasi	
08-Mar-16	272,0	218,0	21,3
10-Mar-16	235,0	91,4	60,9
11-Mar-16	157,0	97,7	37,6
14-Mar-16	474,0	181,0	61,7
15-Mar-16	185,0	136,5	26,6
16-Mar-16	152,0	117,5	23,0
17-Mar-16	81,3	70,7	13,1
18-Mar-16	147,0	62,2	58,1

(Sumber: Hasil penelitian)

Kekeruhan *clearator* pada saat penelitian berada pada kisaran ≤ 5 NTU. Kekeruhan *clearator* dapat dilihat di Tabel 5.6. Kekeruhan pada *clearator* lebih rendah dibandingkan dengan kekeruhan di prasedimentasi. Pada *clearator* inilah proses flokulasi dan sedimentasi terjadi. Flokulasi adalah proses pembentukan flok setelah air baku ditambahkan koagulan pada bak pengaduk cepat. (Damayanti, 2012). Koloid yang sudah kehilangan muatannya atau terdestabilisasi mengalami saling tarik menarik sehingga cenderung untuk membentuk gumpalan yang lebih besar dan mengendap (Narita dkk.,2011).

Tabel 5.6 Kekeruhan Clearator

Tanggal	Kekeruhan Clearator (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	5,1	5,1	5,1
10-Mar-16	3,0	3,0	3,0
11-Mar-16	3,0	3,1	3,0
14-Mar-16	4,2	4,2	4,2

Tanggal	Kekeruhan Clearator (NTU)		
	1	2	Rata - rata
15-Mar-16	3,6	3,7	3,6
16-Mar-16	5,5	5,6	5,5
17-Mar-16	2,9	2,9	2,9
18-Mar-16	3,7	3,7	3,7

(Sumber: Hasil penelitian)

Penyisihan kekeruhan pada *clearator* berjalan cukup baik. Hal ini terlihat dari penyisihan kekeruhan yang terjadi pada *clearator* sebesar 94-97%. Penyisihan kekeruhan pada *clearator* dapat dilihat di Tabel 5.7. Penyisihan kekeruhan berjalan cukup stabil menandakan penambahan koagulan pada unit sebelumnya sudah sesuai. Penyisihan yang berjalan cukup baik juga menandakan bahwa *clearator* berjalan cukup optimal.

Tabel 5.7 Penyisihan Kekeruhan Pada Clearator

Tanggal	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi (%)
	Prasedimentasi	<i>Clearator</i>	
08-Mar-16	214,0	5,1	97,7
10-Mar-16	91,5	3,0	96,7
11-Mar-16	97,7	3,0	96,9
14-Mar-16	180,0	4,2	97,7
15-Mar-16	136,0	3,6	97,3
16-Mar-16	118,0	5,5	95,3
17-Mar-16	71,0	2,9	95,9
18-Mar-16	62,4	3,7	94,0

(Sumber: Hasil penelitian)

Kekeruhan filter pada saat penelitian sebesar 0,3-1 NTU. Kekeruhan filter dapat dilihat di Tabel 5.8. Kekeruhan pada filter lebih rendah dibandingkan dengan kekeruhan di *clearator*. Filter merupakan bangunan untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi dan koloidal dengan cara menyaringnya dengan media filter (Narita dkk.,2011).

Tabel 5.8 Kekeruhan Filter

Tanggal	Kekeruhan Filter (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	0,6	0,6	0,6
10-Mar-16	0,9	1,0	1,0
11-Mar-16	0,7	0,7	0,7
14-Mar-16	0,5	0,5	0,5
15-Mar-16	0,5	0,5	0,5
16-Mar-16	0,7	0,7	0,7
17-Mar-16	0,4	0,4	0,4
18-Mar-16	0,3	0,3	0,3

(Sumber: Hasil penelitian)

Penyisihan kekeruhan pada filter berjalan cukup baik. Hal ini terlihat dari penyisihan kekeruhan yang terjadi pada filter sebesar 70-90%. Penyisihan kekeruhan pada filter dapat dilihat di Tabel 5.9. Penyisihan kekeruhan berjalan cukup stabil menandakan bahwa filter berjalan cukup optimal.

Tabel 5.9 Penyisihan Kekeruhan Pada Filter

Tanggal	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi (%)
	<i>Clearator</i>	Filter	
08-Mar-16	5,1	0,6	89,1
10-Mar-16	3,0	1,0	68,5
11-Mar-16	3,1	0,7	78,1
14-Mar-16	4,2	0,5	88,7
15-Mar-16	3,7	0,5	86,4
16-Mar-16	5,6	0,7	88,2
17-Mar-16	2,9	0,4	87,2
18-Mar-16	3,7	0,3	91,9

(Sumber: Hasil penelitian)

Kekeruhan air produksi pada saat penelitian berada pada kisaran 0,3 – 0,7 NTU. Kekeruhan air produksi cukup rendah. Parameter kekeruhan pada air produksi sudah memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu sebesar 5 NTU. Kekeruhan pada air baku dapat dilihat di Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Kekeruhan Air Produksi

Tanggal	Kekeruhan Air Produksi (NTU)		
	1	2	Rata - rata
08-Mar-16	0,4	0,4	0,4
10-Mar-16	0,3	0,4	0,3
11-Mar-16	0,4	0,4	0,4
14-Mar-16	0,4	0,4	0,4
15-Mar-16	0,5	0,5	0,5
16-Mar-16	0,5	0,6	0,5
17-Mar-16	0,7	0,6	0,6
18-Mar-16	0,4	0,3	0,3

(Sumber: Hasil penelitian)

5.1.2 Analisis Bakteri

Bakteri yang mendapatkan perhatian di dalam air minum terutama adalah bakteri *Escherichia coli* yaitu koliform yang dijadikan indikator dalam penentuan kualitas air minum (Pitojo dan Purwantoyo, 2002). Adanya bakteri dalam air minum perlu diperhatikan sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010. Bakteri dapat bersifat patogen atau beracun sehingga harus dihilangkan dalam proses pengolahan air minum.

Proses penghilangan bakteri dalam pengolahan air minum terjadi pada desinfeksi. Desinfeksi air dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu pemanasan, penyinaran antara lain dengan sinar UV, ion-ion logam antara lain dengan copper dan silver, asam atau basa, senyawa-senyawa kimia, dan klorinasi (Narita dkk.,2011). Proses desinfeksi yang digunakan di IPAM X yaitu klorinasi. Klorinasi merupakan pembubuhan gas klor pada air. Adanya kandungan bakteri koli dalam air dapat menimbulkan gangguan pada manusia terutama penyakit yang berhubungan dengan air, antara lain diare, filariasis, disentri, dan lain-lain (Elly, 2007). Proses penghilangan bakteri sudah berjalan dengan baik, hal ini dapat dilihat dengan tidak adanya bakteri pada air. Jumlah bakteri pada air produksi IPAM X dapat dilihat di Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Analisis Bakteri Pada Air Produksi

Tanggal	Total bakteri koliform Air Produksi (Jumlah/100 ml)
08-Mar-16	0
10-Mar-16	0
11-Mar-16	0
14-Mar-16	0
15-Mar-16	0
16-Mar-16	0
17-Mar-16	0
18-Mar-16	0

(Sumber: Hasil penelitian)

5.1.3 Analisis Sisa Klor

Beberapa unsur – unsur meskipun dapat bersifat racun, masih dapat ditolerir kehadirannya dalam air minum asalkan tidak melebihi konsentrasi yang ditetapkan salah satunya yaitu sisa klor (Pitojo dan Purwantoyo, 2002). Sisa klor yang ada pada air minum merupakan hasil sisa dari proses desinfeksi yang dilakukan pada pengolahan air. Desinfeksi air minum bertujuan membunuh bakteri patogen yang ada dalam air (Narita dkk.,2011).

Proses desinfeksi yang digunakan di IPAM X yaitu klorinasi. Klorinasi merupakan pembubuhan gas klor pada air. Pembubuhan gas klor yang berlebih dapat mengoksidasi zat organik, mengubah amonia menjadi nitogen, membunuh bakteri patogen yang ada pada air dan menghasilkan sisa klor dalam air. Sebagai desinfektan, sisa klor dalam penyediaan air sengaja dipelihara, tetapi dalam konsentrasi yang berlebih klor ini dapat terikat pada senyawa organik dan membentuk halogen hidrokarbon (Cl-HC) banyak diantaranya dikenal sebagai senyawa karsinogenik (Elly, 2007). Senyawa karsinogenik merupakan senyawa yang dapat menimbulkan kanker.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010, keberadaan sisa klor pada outlet reservoir diperbolehkan namun dengan jumlah yang terbatas yakni sebesar 1 mg/l. Dalam penelitian yang sudah dilakukan sisa klor pada air minum hasil produksi IPAM X sebesar 0 mg/l. Sisa klor pada air produksi tidak melebihi baku mutu yang telah

ditetapkan Menteri Kesehatan. Nilai sisa klor yang terlalu kecil menggambarkan tidak adanya klor untuk menguraikan zat organik dan membunuh bakteri patogen.

5.1.4 Analisis Zat Organik

Zat organik yang ada dalam air minum dapat berasal dari alam atau pun dari kegiatan manusia (Soesanti, 1996). Zat organik dari alam berasal dari pembusukan pohon dan mikroorganisme. Zat organik dari kegiatan manusia berasal dari kegiatan rumah tangga, kegiatan pertanian seperti penggunaan pupuk dan pestisida, kegiatan industri yang mengeluarkan limbah organik sesuai produk dan prosesnya.

Penyisihan zat organik dalam proses pengolahan IPAM X terjadi pada proses aerasi, koagulasi dan desinfeksi. Penyisihan zat organik pada aerasi yaitu dengan proses oksidasi, pada koagulasi yaitu dengan pengikatan alum dengan zat organik, dan pada desinfeksi yaitu dengan reaksi zat organik dan klorinasi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010, keberadaan zat organik dalam air minum diperbolehkan namun dengan jumlah yang terbatas yakni sebesar 10 mg/l KMnO_4 . Dalam penelitian yang sudah dilakukan zat organik pada air minum hasil produksi IPAM X sebesar 31,60 mg/l. Zat organik pada air produksi melebihi baku mutu yang telah ditetapkan Menteri Kesehatan. Keberadaan zat organik pada proses desinfeksi merupakan pemicu terbentuknya senyawa DBPs (*Disinfection by Products*) karsinogenik dan mutagenik. Contohnya, trihalometan (THMs), asam haloasetik (HAAs), *cyanogen halides*, dan lain-lain.

5.2 Diagram Fishbone

Data kualitas air menunjukkan adanya kandungan zat organik dalam air produksi. Keberadaan zat organik erat kaitannya dengan belum tercapainya proses BPC (*Break Point Chlorination*). BPC terjadi ketika semua zat yang dioksidasi sudah teroksidasi, amonia menjadi nitrogen dan terdapat sisa klor untuk membunuh bakteri patogen. Ketika zat organik masih terdeteksi dalam air produksi maka terdapat bakteri

patogen dalam air produksi. Diagram fishbone dalam penelitian ini digunakan untuk mencari penyebab adanya zat organik dalam air produksi IPAM X.

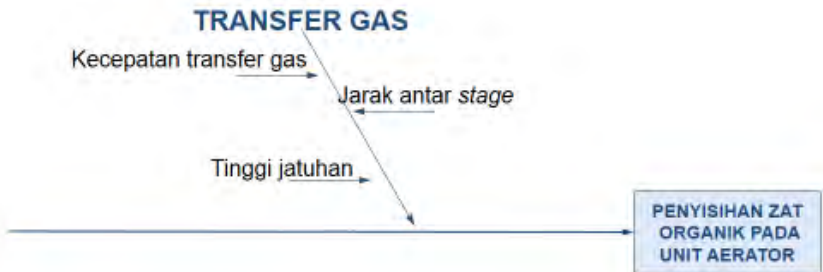
Penyisihan zat organik dalam proses pengolahan IPAM X terjadi pada proses aerasi, prasedimentasi, *flashmix*, *clearator*. Penyisihan zat organik pada aerasi yaitu dengan proses oksidasi, pada koagulasi yaitu dengan pengikatan alum dengan zat organik, dan pada desinfeksi yaitu dengan reaksi zat organik dan klorinasi.

Diagram *fishbone* merupakan suatu alat visual untuk mengidentifikasi, mengeksplorasi, dan secara grafik menggambarkan secara detail semua penyebab yang berhubungan dengan suatu permasalahan (Scarvada dkk., 2004). Dalam penelitian ini, diagram fishbone akan digunakan untuk membantu mencari penyebab adanya zat organik yang disebabkan penurunan beberapa kinerja unit seperti aerasi, prasedimentasi, *flashmix* dan *clearator*.

Diagram *fishbone* meliputi kepala ikan yang digunakan untuk menyatakan masalah utama, kemudian sirip ikan yang akan digunakan untuk menuliskan kelompok penyebab permasalahan dan duri ikan yang akan digunakan untuk menyatakan penyebab masalah (Robbins dan Coulter, 2012). Pembuatan diagram fishbone disesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan saat ini. Permasalahan yang terjadi pada masing-masing unit dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan digambarkan dalam diagram.

5.2.1 Bak Aerasi

Berdasarkan diagram *fishbone* untuk unit aerasi (Gambar 5.1), sistem pengolahan air minum yang ada di unit aerasi dipengaruhi oleh satu faktor yaitu transfer gas. Masing-masing faktor kegagalan akan dicari penyebabnya. Dari hasil analisis untuk faktor transfer gas dipengaruhi kecepatan transfer gas, jarak antar *stage* dan tinggi jatuhnya. Dari masing-masing faktor kegagalan akan dianalisis untuk menentukan nilai risiko terbesar yang akan dilakukan perbaikan.



Gambar 5.1 Diagram *Fishbone* Unit Aerasi

- a. Kecepatan transfer gas
Kecepatan transfer gas yang ideal akan memaksimalkan area paparan air dengan udara (Qasim, 2000). Kecepatan transfer gas mempengaruhi banyaknya gas yang ditasfer pada proses aerasi. Kecepatan gas transfer pada unit aerasi adalah $0,53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{menit}$. Kecepatan transfer gas tidak sesuai dengan kriteria desain sebesar $0,8\text{-}1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{menit}$. Jumlah transfer gas yang kecil dapat mempengaruhi reaksi oksidasi zat organik, besi, mangan, dll.
- b. Jarak antar stage
Stage disusun pada aerator dengan tujuan untuk memperpanjang waktu kontak air dengan oksigen. Jarak antar *stage* yang terpasang di IPAM X yaitu 75 cm. Berdasarkan Popel, 1974 sesuai dengan kriteria desain jarak antar stage sebesar 30-75 cm. Jarak antar stage sudah memenuhi kriteria desain. Jarak antar *stage* memengaruhi lamanya kontak antara air baku dengan udara. Hal ini erat kaitannya dengan transfer oksigen yang terjadi pada proses aerasi.
- c. Tinggi jatuh
Tinggi jatuh merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja pada aerator. Berdasarkan Masduqi dan Assomadi, 2012 tinggi jatuh yang sesuai kriteria desain yaitu 1-3 m. Tinggi jatuh yang ada pada proses aerasi sebesar 2,25 m. Tinggi jatuh

pada proses aerasi sudah memenuhi kriteria desain. Tinggi jatuhnya erat kaitannya dengan waktu kontak air baku dengan oksigen.

5.2.2 Bak Prasedimentasi

Berdasarkan diagram *fishbone* untuk unit prasedimentasi (Gambar 5.2), sistem pengolahan air minum yang ada di unit prasedimentasi dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu Luas Permukaan, Karakteristik Aliran dan Volume Bak. Masing-masing faktor kegagalan akan dicari penyebabnya. Dari hasil analisis untuk faktor volume bak dipengaruhi debit influen dan waktu tinggal, untuk faktor karakteristik aliran dipengaruhi oleh bilangan froude dan reynold, dan untuk faktor luas permukaan dipengaruhi oleh beban permukaan dan debit. Dari masing-masing faktor kegagalan akan dianalisis untuk menentukan nilai risiko terbesar yang akan dilakukan perbaikan.



Gambar 5.2 Diagram *Fishbone* Unit Prasedimentasi

a. Debit influen

Debit rata-rata yang masuk dalam bak prasedimentasi sebesar 2000,38 liter/detik. Sedangkan, debit desain untuk unit prasedimentasi yaitu sebesar 2000 liter/detik. Debit yang masuk cenderung fluktuatif bergantung pada kinerja pompa. Debit yang berfluktuatif menyebabkan proses yang berlangsung tidak berjalan maksimal. Semakin besar debit maka semakin kecil waktu tinggalnya dan sebaliknya.

- b. Waktu tinggal
Waktu tinggal merupakan lamanya air baku berada dalam bak. Waktu tinggal pada bak prasedimentasi 2,67 jam. Berdasarkan Schulz, 1984 kriteria desain untuk waktu tinggal sebesar 1,5 – 3 jam. Waktu tinggal memenuhi kriteria desain. Waktu tinggal yang sudah sesuai menunjukkan bahwa lamanya air baku di bak cukup untuk mengalami proses pengendapan, namun masih ada beberapa kriteria lain yang belum memenuhi.
- c. Beban permukaan
Beban permukaan merupakan beban yang ditampung oleh unit untuk mengetahui kemampuan unit tersebut dalam menerima beban. Beban permukaan pada unit prasedimentasi sebesar 1,5 m/jam. Berdasarkan Droste, 1997 sesuai dengan kriteria desain beban permukaan 37-50 m/jam. Beban permukaan unit prasedimentasi masih dibawah kriteria desain menunjukkan bahwa unit aerasi masih mampu menampung beban yang telah diterima, namun masih ada beberapa kriteria lain yang belum memenuhi.
- d. Bilangan froude
Bilangan froude menggambarkan kondisi aliran (subkritis, kritis atau superkritis) yang terjadi dalam proses pengendapan pada bak prasedimentasi (Yulanti, 2012). Bilangan froude pada bak prasedimentasi sebesar $2,71 \times 10^{-6}$. Berdasarkan SNI 6774 Tahun 2008 kriteria desain bilangan froude $> 10^{-5}$. Bilangan froude belum memenuhi kriteria desain, aliran yang terjadi yaitu aliran subkritis. Perancangan prasedimentasi dibuat sedemikian rupa agar memenuhi bilangan froude, sehingga aliran mendukung proses pengendapan.
- e. Bilangan reynold
Bilangan reynold menunjukkan kondisi aliran (laminer atau turbulen) yang terjadi pada bak prasedimentasi (Yulanti, 2012). Kondisi aliran yang laminer dapat mengoptimalkan proses pengendapan yang berlangsung di unit prasedimentasi sehingga kondisi

aliran juga mempengaruhi efisiensi kerja unit prasedimentasi. Bilangan reynold pada unit prasedimentasi sebesar 26003. Sesuai dengan SNI 6774 Tahun 2008, kriteria desain untuk bilangan reynold kurang dari 2000. Bilangan reynold yang belum memenuhi kriteria desain menunjukkan bahwa proses pengendapan belum berlangsung dengan baik sehingga efisiensi unit prasedimentasi cenderung kecil.

5.2.3 Bak Flashmix

Berdasarkan diagram *fishbone* untuk unit *flashmix* (Gambar 5.3), sistem pengolahan air minum yang ada di unit *flashmix* dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu Kehilangan Tekanan, Karakteristik Aliran dan Volume Bak. Masing-masing faktor kegagalan akan dicari penyebabnya. Dari hasil analisis untuk faktor volume bak dipengaruhi debit influen dan waktu tinggal, untuk faktor karakteristik aliran dipengaruhi oleh bilangan reynold, dan untuk faktor kehilangan tekanan dipengaruhi oleh gradien kecepatan. Dari masing-masing faktor kegagalan akan dianalisis untuk menentukan nilai risiko terbesar yang akan dilakukan perbaikan.



Gambar 5.3 Diagram *Fishbone* Unit *Flashmix*

- a. Debit influen

Debit rata-rata yang masuk dalam *flashmix* sebesar 2000,38 liter/detik. Sedangkan, debit desain untuk unit *flashmix* yaitu sebesar 2000 liter/detik. Debit yang masuk ke dalam cenderung fluktuatif bergantung pada kinerja pompa. Debit yang berfluktuatif menyebabkan proses yang berlangsung tidak berjalan maksimal. Semakin besar debit maka semakin kecil waktu tinggalnya dan sebaliknya.

b. Waktu tinggal

Waktu tinggal merupakan lamanya air baku berada dalam bak. Waktu tinggal pada bak *flashmix* 32,4 detik. Berdasarkan Droste, 1997 kriteria desain untuk waktu tinggal sebesar 10-60 detik. Waktu tinggal memenuhi kriteria desain. Waktu tinggal yang sudah sesuai menunjukkan bahwa lamanya air baku di bak *flashmix* cukup untuk mengalami pencampuran dalam bak, namun masih ada beberapa kriteria lain yang belum memenuhi.

c. Gradien kecepatan

Gradien kecepatan pada unit *flashmix* sebesar 1042/detik. Berdasarkan Droste, 1997 kriteria desain gradien kecepatan sebesar 300-1000/ detik. Nilai gradien kecepatan belum memenuhi kriteria desain. Gradien kecepatan merupakan kecepatan yang diperlukan untuk mencampurkan air baku dengan koagulan yang ditambahkan. Nilai gradien yang terlalu besar menunjukkan pencampuran belum berjalan optimal.

d. Bilangan reynold

Bilangan reynold menunjukkan kondisi aliran (laminer atau turbulen) yang terjadi (Yulanti,2012). Kondisi aliran yang turbulen dibutuhkan agar dapat mengoptimalkan proses pembubuhan koagulan yang berlangsung di unit *flashmix*. Bilangan reynold pada unit *flashmix* sebesar 142401. Sesuai dengan Droste, 1997 kriteria desain untuk bilangan reynold lebih dari 2000. Bilangan reynold yang memenuhi kriteria desain menunjukkan bahwa kondisi pencampuran sudah

sesuai, namun masih ada beberapa kriteria yang belum memenuhi.

5.2.4 Bak Clearator

Berdasarkan diagram *fishbone* untuk unit *clearator* (Gambar 5.4), sistem pengolahan air minum yang ada di unit *clearator* dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu Luas Permukaan, Karakteristik Aliran dan Kehilangan Tekanan. Masing-masing faktor kegagalan akan dicari penyebabnya. Dari hasil analisis untuk faktor kehilangan tekanan dipengaruhi gradien kecepatan, untuk faktor karakteristik aliran dipengaruhi oleh bilangan reynold, dan untuk faktor beban luas permukaan dipengaruhi oleh *solid loading rate*, OFR dan waktu tinggal. Dari masing-masing faktor kegagalan akan dianalisis untuk menentukan nilai risiko terbesar yang akan dilakukan perbaikan.



Gambar 5.4 Diagram *Fishbone* Unit Clearator

a. Gradien kecepatan

Gradien kecepatan pada unit *flashmix* sebesar 1211/detik. Berdasarkan Droste, 1997 kriteria desain gradien kecepatan sebesar 10-100/ detik. Nilai gradien kecepatan belum memenuhi kriteria desain. Nilai gradien yang terlalu besar menunjukkan proses pembentukan flokulasi pada *clearator* belum berjalan optimal. Gradien kecepatan yang terlalu besar dapat menghancurkan proses pembentukan flok.

- b. Bilangan Reynold
Bilangan Reynold menunjukkan kondisi aliran (laminar atau turbulen) yang terjadi (Yulianti, 2012). Kondisi aliran yang laminar dibutuhkan agar dapat mengendapkan flok yang sudah terbentuk pada proses flokulasi. Bilangan Reynold pada unit clearator sebesar 1607,65. Sesuai dengan Droste, 1997 kriteria desain untuk bilangan Reynold kurang dari 2000. Bilangan Reynold yang memenuhi kriteria desain menunjukkan bahwa kondisi pengendapan pada clearator sudah berjalan dengan baik, namun masih ada beberapa kriteria yang belum memenuhi.
- c. *Solid Loading Rate* (SLR)
Solid Loading Rate menunjukkan bahwa masa padatan yang digunakan per satuan luas per satuan waktu. SLR pada unit clearator sebesar 5,78 m/jam. Sesuai dengan Droste, 1997 kriteria desain untuk solid loading rate sebesar 1,25 – 3,7 m/jam. SLR belum memenuhi kriteria desain. SLR berkaitan dengan debit influen dan luas permukaan unit.
- d. OFR
Over Flow Rate adalah flok settler dalam *clearator* yang memisahkan dengan cairan bening yang berada diatas. Kenaikan kecepatan air menunjukkan adanya *over flow rate* (OFR) dan dapat diartikan juga pembagian antara laju dengan luas permukaan clearator. OFR pada unit *clearator* sebesar 7,09 m/hari. Sesuai dengan Droste, 1997 kriteria desain untuk OFR sebesar 24-550 m/hari. OFR masih memenuhi kriteria desain.
- e. Waktu tinggal
Waktu tinggal merupakan lamanya air baku berada dalam bak. Waktu tinggal pada bak *clearator* sebesar 78 menit. Berdasarkan Droste, 1997 kriteria desain untuk waktu tinggal sebesar 15-45 menit. Waktu tinggal tidak memenuhi kriteria desain. Waktu tinggal yang tidak sesuai menunjukkan bahwa lamanya air baku di bak clearator terlalu lama untuk mengalami pengendapan dalam bak.

5.3 Penentuan Bobot Kepentingan Risiko

Penentuan bobot untuk masing-masing risiko digunakan untuk memudahkan dalam mempertimbangkan tindakan prioritas perbaikan. Pemberian bobot untuk masing masing risiko berdasarkan kondisi eksisting di lapangan. Semakin banyak risiko dari kegagalan yang ditimbulkan, maka semakin besar bobot yang diberikan. Pembobotan untuk masing masing faktor risiko dapat dilihat di Tabel 5.12

Tabel 5.12 Pembobotan Faktor Risiko

Proses	Faktor risiko	Bobot (%)	Dampak Kegagalan
Aerasi	Kecepatan transfer gas	45%	Zat organik tidak teroksidasi sehingga dibutuhkan dosis pembubuhan koagulan yang berlebih.
	Jarak antar stage Tinggi		
Prasedimentasi	Debit	15%	Proses pengendapan zat organik yang terlarut buruk sehingga masih tersisa dalam air.
	Waktu tinggal		
	Beban permukaan		
	Bilangan reynold		
Flashmix	Bilangan froude	25%	Dosis pembubuhan koagulan kurang sehingga masih ada zat organik yang tersisa dalam air.
	Debit		
	Waktu tinggal		
	Gradien kecepatan		
Clearator	Bilangan reynold	15%	Proses pengendapan zat organik yang berikatan dengan koagulan kurang optimal. Dibutuhkan pembubuhan klor yang berlebih untuk
	Solid loading rate		
	Waktu tinggal		
	Gradien kecepatan		

Proses	Faktor risiko	Bobot (%)	Dampak Kegagalan
	Bilangan reynold		mengoksidasi zat organik.
	Gradien Kecepatan		

Berdasarkan Peraturan PU Nomor 18 Tahun 2017, untuk menghilangkan bahan organik, dapat digunakan teknologi seperti Karbon Aktif (*Granular Activated Carbon*), atau menggunakan proses aerasi, adsorpsi, atau kombinasi aerasi-adsorpsi. Sesuai dengan peraturan tersebut maka penyisihan zat organik pada aerasi dioptimalkan. Penyisihan zat organik pada aerasi juga dapat mengurangi beban pengolahan pada unit setelahnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka bobot risiko untuk aerasi paling besar yaitu 45%.

Proses pengendapan pada unit prasedimentasi cukup baik sesuai dengan Tabel 5.5. Proses pengendapan kekeruhan pada unit prasedimentasi dapat dianalogikan bersamaan dengan proses pengendapan zat organik pada unit prasedimentasi. Proses pengendapan untuk menyisihkan kekeruhan sendiri berlangsung cukup baik dengan efisiensi sebesar 13-60%. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka pembobotan risiko untuk prasedimentasi sebesar 15%.

Proses koagulasi yang berlangsung pada *flashmix* berfungsi untuk mencampurkan partikel koloid dengan koagulan yang ditambahkan. Koagulasi berjalan kurang maksimal ketika dalam air baku masih terdapat zat organik. Koagulan yang ditambahkan pada proses ini akan berikatan dengan zat organik terlebih dahulu sehingga kebutuhan koagulan lebih besar. Kebutuhan koagulan yang lebih besar dapat berakibat pada tingginya jumlah lumpur yang dihasilkan pada proses tersebut. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka pembobotan risiko untuk *flashmix* sebesar 25%.

Proses pengendapan pada *clearator* cukup baik sesuai dengan Tabel 5.7. Proses pengendapan koagulan yang telah berikatan dengan partikel koloid dapat dianalogikan bersamaan dengan pengendapan zat organik yang telah berikatan dengan koagulan. Berdasarkan pertimbangan

tersebut maka pembobotan risiko untuk *clearator* sebesar 15%.

5.4 Penggunaan Metode FMEA

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode yang akurat dalam mengidentifikasi kegagalan produk atau sistem, frekuensi kegagalan, dan potensi penyebab kegagalan (Sellappan, 2013). FMEA dalam penelitian ini digunakan untuk mencari risiko terbesar yang menyebabkan adanya penurunan kualitas air produksi. Penyebab penurunan kualitas air produksi yang dibahas yaitu terkait adanya kandungan zat organik dalam air produksi. Penentuan risiko terbesar dalam penelitian ini dinyatakan dengan angka RPN terbesar. RPN merupakan hasil perkalian bobot dari *severity*, *occurrence* dan *detection* (Pillay dan Wang, 2003). Nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* berdasarkan kondisi eksisting IPAM X.

Menurut Irawan (2002), skala 10 memang memiliki tingkat sensitivitas lebih tinggi dibandingkan skala 5. Kelemahan penggunaan skala 1-10 akan memepersulit penentuan interval yang sama pada setiap tingkatan. Penggunaan skala 5 sering digunakan dalam penilaian risiko. Penggunaan skala 1-5 disesuaikan dengan Tabel 2.2 pada tinjauan pustaka, dimana pembagian rating dibagi hanya menjadi 5 tingkatan. Keseluruhan penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection* menggunakan skala 5 untuk menjamin konsistensi dalam analisis risiko.

5.4.1 Penentuan Severity

Severity merupakan kuantifikasi seberapa serius kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *Failure Effect* (Pillay dan Wang, 2003). Penentuan nilai Severity berdasarkan pada data analisis laboratorium terkait kualitas air unit pengolahan dan pengamatan yang dilakukan langsung di lapangan. Perhitungan nilai Severity mempertimbangkan keadaan ideal dibandingkan dengan keadaan eksisting. Sebelum dilakukan penilaian *severity*, terlebih dahulu dibuat skala besaran risiko untuk memudahkan penilaian. Selanjutnya dibuatkan deskripsi

tiap tingkatan skala untuk menjamin konsistensi dalam analisis risiko. Berikut deskripsi skala besar risiko disajikan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Deskripsi Tingkatan Skala Besar Risiko dan Skala Lingkungan

Skala Besar Risiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Risiko yang ditimbulkan tidak berpengaruh terhadap kehadiran zat organik dalam air produksi	Risiko yang ditimbulkan bisa berpengaruh pada kehadiran zat organik dalam air produksi	Risiko menyebabkan penurunan performa dari fungsi unit, dan berpengaruh terhadap kehadiran zat organik dalam air produksi	Risiko menyebabkan bahaya terkait kandungan zat organik yang akan melampaui standar aturan pemerintah nasional	Risiko menyebabkan bahaya terkait kandungan zat organik melampaui standar aturan pemerintah nasional
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kondisi ideal yang ingin dicapai, memenuhi batas standar yang ditetapkan	Memenuhi batas standar yang ditetapkan, bisa memengaruhi performa unit pengolahan	Masih memenuhi batas standar yang ditetapkan, memengaruhi performa unit pengolahan	Memenuhi batas standar yang ditetapkan, namun dalam batas minimum	Tidak memenuhi batas standar yang ditetapkan

Pada Tabel 5.14 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal kecepatan transfer gas yaitu $0,8-1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{mnt}$. Dari hasil perhitungan, kecepatan transfer gas pada unit aerasi sebesar $0,53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{mnt}$. Kecepatan transfer gas cenderung rendah menggambarkan proses transfer gas yang berjalan pada unit aerasi kurang optimal. Transfer gas yang kurang memadai dapat menyebabkan zat organik belum terurai seluruhnya. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat

dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.14 maka kondisi eksisting debit termasuk dalam skala 2.

Tabel 5.14 Batasan Kriteria Risiko Kecepatan Transfer Gas

Skala Besar Risiko Transfer Gas				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kecepatan Transfer Gas 0,8-1,5 m ³ /m ² .mnt	Kecepatan Transfer Gas 0,71 – 0,79 m ³ /m ² .mnt	Kecepatan Transfer Gas 0,61 – 0,7 m ³ /m ² .mnt	Kecepatan Transfer Gas 0,51 - 0,6 m ³ /m ² .mnt	Kecepatan Transfer Gas 0,4-0,5 m ³ /m ² .mnt

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari kecepatan transfer gas adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$Severity = \frac{Nilai skala ideal - Nilai skala eksisting}{Nilai skala ideal} \times 100\%$$

$$= \frac{5 - 2}{5} \times 100\% = 60\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting kecepatan transfer gas 2. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko kecepatan transfer gas sebesar 60%.

Pada Tabel 5.15 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal jarak antar *stage* yaitu 30-75 cm. Dari data milik IPAM X, jarak antar *stage* unit aerasi sebesar 75 cm. Jarak antar *stage* memengaruhi transfer oksigen yang terjadi bak aerasi. Pemasangan *stage* dilakukan untuk memperlama waktu kontak antara air baku yang diolah pada unit aerasi dengan udara (oksigen) agar transfer oksigen berjalan dengan baik Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.15

maka kondisi eksisting beban permukaan termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.15 Batasan Kriteria Jarak Antar *Stage*

Skala Besar Risiko Jarak Antar <i>Stage</i>				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Jarak antar <i>stage</i> 30-75 cm	Jarak antar <i>stage</i> 22-29 cm	Jarak antar <i>stage</i> 15-21 cm	Jarak antar <i>stage</i> 8-14 cm	Jarak antar <i>stage</i> 1-7 cm

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari jarak antar *stage* adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting jarak antar *stage* 1. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko jarak antar *stage* sebesar 0

Pada Tabel 5.16 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal tinggi jatuhan yaitu 1-3 m. Berdasarkan data milik PDAM, tinggi jatuhan sebesar 2,25 m. Tinggi jatuhan erat kaitannya dengan waktu kontak pada proses aerasi. Waktu kontak merupakan lamanya kontak antara air baku dengan udara (oksigen). Oksigen digunakan untuk menguraikan zat organik. Jika keberadaan oksigen terbatas maka zat organik tidak dapat terurai semua dan tersisa dalam air. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Tabel 5.16 maka kondisi eksisting tinggi jatuhan dalam skala 5.

Tabel 5.16 Batasan Kriteria Risiko Tinggi Jatuhan

Skala Besar Risiko Tinggi Jatuhan				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Tinggi jatuhan 1-3 m	Tinggi jatuhan 0,76-0,99m	Tinggi jatuhan 0,51-0,75m	Tinggi jatuhan 0,26-0,5 m	Tinggi jatuhan ≤ 0,25 m

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari tinggi jatuhan adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting tinggi jatuhan 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko tinggi jatuhan sebesar 0.

Pada Tabel 5.17 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal debit yaitu 2000 liter/detik. Dari hasil perhitungan, debit rata-rata yang masuk ke dalam unit aerasi sebesar 2000,38 liter/detik. Debit yang berfluktuasi menyebabkan waktu tinggal air baku berfluktuasi sehingga proses yang berjalan pada unit prasedimentasi kurang optimal. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.17 maka kondisi eksisting debit termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.17 Batasan Kriteria Risiko Debit

Skala Besar Risiko Debit (Prasedimentasi)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Debit influen ≤ 2000 l/detik	Debit influen sebesar 2001-2037 liter/detik	Debit influen sebesar 2038 - 2075 liter/detik	Debit influen sebesar 2076-2149 liter/detik	Debit influen ≥ 2150 liter/detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari debit adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting debit 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko debit sebesar 0.

Pada Tabel 5.18 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal waktu tinggal yaitu 1-3 jam. Dari hasil perhitungan, waktu tinggal rata-rata yang masuk ke dalam unit prasedimentasi sebesar 2,67 jam. Waktu tinggal yang berfluktuasi disebabkan debit yang masuk berfluktuasi sehingga proses pengendapan yang berjalan tidak stabil. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.18 maka kondisi eksisting waktu tinggal termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.18 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal

Skala Besar Risiko Waktu Tinggal (Prasedimentasi)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Proses dengan Td 1 -3 jam	Proses dengan Td 4-5 jam	Proses dengan Td 6-7 jam	Proses dengan Td 8-9 jam	Proses dengan Td > 10 jam

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari waktu tinggal adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting waktu tinggal 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko waktu tinggal sebesar 0.

Pada Tabel 5.19 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal bilangan reynold < 2000. Dari hasil perhitungan, bilangan reynold pada unit prasedimentasi sebesar 26003. Bilangan reynold yang belum memenuhi kriteria menunjukkan kondisi pengendapan dalam prasedimentasi turbulen. Kondisi turbulen menyebabkan pengendapan sulit berlangsung. Partikel yang akan mengendap menjadi sulit untuk mengendap sehingga penyisihan kekeruhan pada prasedimentasi rendah. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.19 maka kondisi eksisting bilangan reynold termasuk dalam skala 1.

Tabel 5.19 Batasan Kriteria Bilangan Reynold (Prasedimentasi)

Skala Besar Risiko Bilangan Reynold				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Bilangan reynold < 2000	Bilangan reynold 2001-8500	Bilangan reynold 8501-15000	Bilangan reynold 15001-21500	Bilangan reynold 21500-28000

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari bilangan reynold adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 1}{5} \times 100\% = 80\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting bilangan reynold 1. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko bilangan reynold sebesar 80%.

Pada Tabel 5.20 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal bilangan froude $> 10^{-5}$. Dari hasil perhitungan, bilangan froude pada unit prasedimentasi sebesar $2,71 \times 10^{-6}$. Bilangan froude yang belum memenuhi kriteria menunjukkan kondisi pengendapan dalam prasedimentasi subkritis. Kondisi subkritis mempengaruhi pengendapan sehingga penyisihan kekeruhan pada prasedimentasi rendah. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.20 maka kondisi eksisting bilangan froude termasuk dalam skala 2.

Tabel 5.20 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Froude

Skala Besar Risiko Bilangan Froude				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Bilangan froude > 10-5	Bilangan froude 7,6.10 ⁻⁶ - 9,9.10 ⁻⁶	Bilangan froude 5,1.10 ⁻⁶ - 7,5.10 ⁻⁶	Bilangan froude 2,6.10 ⁻⁶ - 5.10 ⁻⁶	Bilangan froude 1.10 ⁻⁶ - 2,5.10 ⁻⁶

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari bilangan froude adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 2}{5} \times 100\% = 60\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting bilangan froude 2. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko bilangan froude sebesar 60%.

Pada Tabel 5.21 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal beban permukaan 2-3 m³/m²/jam. Dari hasil perhitungan, beban permukaan sebesar 1,5 m³/m²/jam. Beban permukaan masih memenuhi kriteria desain sehingga dapat dilihat bahwa unit prasedimentasi masih dapat menampung beban yang diberikan pada unit pengolahan tersebut. Beban permukaan yang diterima unit pengolahan prasedimentasi berfluktuasi disebabkan debit yang mengalir pada prasedimentasi berubah ubah. Beban permukaan berfluktuasi namun dalam rentang yang tidak terlalu jauh sehingga masih memenuhi. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang

dapat dilihat di Lampiran A. Pada Tabel 5.21 kondisi eksisting beban permukaan termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.21 Batasan Kriteria Beban Permukaan

Skala Besar Risiko Beban Permukaan (Bak Prasedimentasi)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Beban permukaan n 2-3 m ³ /m ² /jam	Beban permukaan n 4-5 m ³ /m ² /jam	Beban permukaan n 6-7 m ³ /m ² /jam	Beban permukaan n 8-9 m ³ /m ² /jam	Beban permukaan n > 10 m ³ /m ² /jam

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari beban permukaan adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting beban permukaan 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko beban permukaan sebesar 0.

Pada Tabel 5.22 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal gradien kecepatan 300-1000/detik. Dari hasil perhitungan, gradien kecepatan sebesar 1042/detik. Gradien kecepatan belum memenuhi kriteria desain. Gradien kecepatan yang terlalu besar dapat menyebabkan flock yang akan terbentuk akibat pencampuran antara air baku dan koagulan menjadi terpecah. Flock yang terpecah tersebut dapat menjadi salah satu faktor kegagalan dalam proses koagulasi. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat

di Lampiran A. Pada Tabel 5.22 maka kondisi eksisting beban permukaan termasuk dalam skala 3.

Tabel 5.22 Batasan Kriteria Risiko Gradien Kecepatan

Skala Besar Risiko Gradien Kecepatan (Bak <i>Flashmix</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Gradien kecepatan 300-1000/detik	Gradien kecepatan 1001-1037/detik	Gradien kecepatan 1038 - 1075/detik	Gradien kecepatan 1076-1112/detik	Gradien kecepatan 1113-1150 /detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari gradien kecepatan adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 3}{5} \times 100\% = 40\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting gradien kecepatan 3. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko gradien kecepatan sebesar 40%.

Pada Tabel 5.23 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal debit yaitu 2000 liter/detik. Dari hasil perhitungan, debit rata-rata yang masuk ke dalam unit *flashmix* sebesar 2000,38 liter/detik. Debit yang berfluktuasi menyebabkan waktu tinggal air baku berfluktuasi sehingga proses yang berjalan pada unit *flashmix* kurang optimal. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.23 maka kondisi eksisting debit termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.23 Batasan Kriteria Risiko Debit

Skala Bsar Risiko Debit (<i>Flashmix</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Debit influen ≤ 2000 l/detik	Debit influen sebesar 2001-2037 liter/detik	Debit influen sebesar 2038 - 2075 liter/detik	Debit influen sebesar 2076-2149 liter/detik	Debit influen ≥ 2150 liter/detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari debit adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting debit 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko debit sebesar 0.

Pada Tabel 5.24 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal waktu tinggal yaitu 10-60 detik. Dari hasil perhitungan, waktu tinggal rata-rata yang masuk ke dalam unit *flashmix* sebesar 32,4 detik. Waktu tinggal yang berfluktuasi merupakan akibat dari debit yang fluktuatif yang masuk ke dalam unit *flashmix*. Waktu tinggal yang berfluktuatif memengaruhi pembentukan flock yang berubah-ubah sehingga memengaruhi hasil koagulasi. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Pada Tabel 5.24 maka kondisi eksisting waktu tinggal termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.24 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal

Skala Besar Waktu Tinggal (<i>Flashmix</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Proses dengan Td 10-60 detik	Proses dengan Td 61-80 detik	Proses dengan Td 81-100 detik	Proses dengan Td 101-120 detik	Proses dengan Td > 120 detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari waktu tinggal adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting waktu tinggal 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko waktu tinggal sebesar 0.

Pada Tabel 5.25 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal bilangan reynold >2000. Dari hasil perhitungan, bilangan reynold sebesar 142401. Bilangan reynold memenuhi kriteria desain. Bilangan reynold yang besar menunjukkan proses yang berlangsung pada *flashmix* merupakan *turbulence*. Kondisi *turbulence* dibutuhkan agar proses pencampuran antara koagulasi berlangsung secara rata. Pencampuran merata dibutuhkan agar proses koagulasi berjalan dengan optimal. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Pada Tabel 5.25 maka kondisi eksisting waktu tinggal termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.25 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Reynold (*Flashmix*)

Skala Besar Risiko Bilangan Reynold				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Bilangan reynold > 2000	Bilangan reynold 1999-1900	Bilangan reynold 1899-1800	Bilangan reynold 1799-1700	Bilangan reynold < 1700

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari bilangan reynold adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting bilangan reynold 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko bilangan reynold sebesar 0.

Pada Tabel 5.26 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal gradien kecepatan 10-100/detik. Dari hasil perhitungan, gradien kecepatan sebesar 1211/detik. Gradien kecepatan belum memenuhi kriteria desain. Gradien kecepatan yang terlalu besar dapat menyebabkan flock yang akan terbentuk akibat pencampuran antara air baku dan koagulan menjadi terpecah. Flock yang terpecah tersebut dapat menjadi salah satu faktor kegagalan dalam proses *clearator*. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Pada Tabel 5.26 maka kondisi eksisting beban permukaan termasuk dalam skala 1.

Tabel 5.26 Batasan Kriteria Risiko Gradien Kecepatan

Skala Besar Risiko Gradien Kecepatan (<i>Clearator</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Gradien kecepatan 10-100/detik	Gradien kecepatan 101-425/detik	Gradien kecepatan 426 - 750/detik	Gradien kecepatan 751-1075/detik	Gradien kecepatan 1076-1400/detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari gradien kecepatan adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 1}{5} \times 100\% = 80\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting gradien kecepatan 1. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko gradien kecepatan sebesar 80%.

Pada Tabel 5.27 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal bilangan reynold < 2000. Dari hasil perhitungan, bilangan reynold pada unit *clearator* sebesar 1607,65. Bilangan reynold memenuhi kriteria desain menunjukkan kondisi pengendapan dalam *clearator* laminier. Kondisi laminier menggambarkan pengendapan berlangsung cukup baik. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.27 maka kondisi eksisting bilangan reynold termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.27 Batasan Kriteria Risiko Bilangan Reynold

Skala Besar Risiko Bilangan Reynold (<i>Clearator</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Bilangan reynold < 2000	Bilangan reynold 2001-2100	Bilangan reynold 2101-2200	Bilangan reynold 2201-2300	Bilangan reynold 2301-2400

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari bilangan reynold adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting bilangan reynold 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko bilangan reynold sebesar 0.

Pada Tabel 5.28 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal *solid loading rate* 1,25-3,7 m/jam. Dari hasil perhitungan, *solid loading rate* pada unit *clearator* sebesar 5,78 m/jam. *Solid loading rate* tidak memenuhi kriteria desain. SLR berkaitan dengan kecepatan pengendapan, luas permukaan dan debit. Kecepatan pengendapan yang terlalu kecil menyebabkan nilai SLR besar. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.28 maka kondisi eksisting *solid loading rate* termasuk dalam skala 1.

Tabel 5.28 Batasan Kriteria Risiko *Solid Loading Rate*

Skala Besar Risiko <i>Solid Loading Rate</i>				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
<i>Solid loading rate</i> 1,25-3,7 m/jam	<i>Solid loading rate</i> 3,8-4,2 m/jam	<i>Solid loading rate</i> 4,3-4,7 m/jam	<i>Solid loading rate</i> 4,8-5,2 m/jam	<i>Solid loading rate</i> 5,2-5,7 m/jam

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari *solid loading rate* adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 1}{5} \times 100\% = 80\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting *solid loading rate* 1. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko *solid loading rate* sebesar 80%.

Pada Tabel 5.29 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal OFR 24-550 m/hari. Dari hasil perhitungan, OFR pada unit *clearator* sebesar 7,09 m/jam. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai OFR memenuhi kriteria desain. OFR dapat diartikan juga pembagian antara laju pengendapan dengan luas permukaan *clearator*. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Kondisi eksisting diplotkan dalam Tabel 5.29 maka kondisi eksisting OFR termasuk dalam skala 5.

Tabel 5.29 Batasan Kriteria Risiko OFR

Skala Besar Risiko OFR				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
OFR 24-550 m/hari	OFR 551-600 m/hari	OFR 601-650 m/hari	OFR 651-700 m/hari	OFR 701-750 m/hari

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari OFR adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 5}{5} \times 100\% = 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting OFR 5. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko OFR sebesar 0.

Pada Tabel 5.30 dijelaskan bahwa kolom berwarna merah merupakan kondisi ideal waktu tinggal yaitu 15-45 menit. Dari hasil perhitungan, waktu tinggal rata-rata yang masuk ke dalam unit *clearator* sebesar 78 menit. Waktu tinggal pada unit *clearator* tidak memenuhi kriteria desain. Waktu tinggal yang besar menggambarkan debit dan luas permukaan *tube settler*. Waktu tinggal yang besar menggambarkan nilai luas permukaan *tube settler* kecil. Luas permukaan *tube settler* yang kecil dapat disebabkan lumpur yang mengendap yang memengaruhi proses pengendapan yang berlangsung di *clearator*. Penentuan interval skala risiko berdasarkan pada data historis milik IPAM X yang dapat dilihat di Lampiran A. Pada Tabel 5.30 maka kondisi eksisting waktu tinggal termasuk dalam skala 2.

Tabel 5.30 Batasan Kriteria Risiko Waktu Tinggal (Clearator)

Skala Besar Waktu Tinggal (Clearator)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Proses dengan Td 15-45 menit	Proses dengan Td 46-58 detik	Proses dengan Td 59-72 detik	Proses dengan Td 73-86 detik	Proses dengan Td 87-100 detik

Dari hasil perkiraan kondisi eksisting dapat diketahui nilai *Severity* dari waktu tinggal adalah dengan perhitungan matematis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Severity &= \frac{\text{Nilai skala ideal} - \text{Nilai skala eksisting}}{\text{Nilai skala ideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5 - 2}{5} \times 100\% = 60\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai skala kondisi eksisting waktu tinggal 2. Nilai *severity* untuk sub faktor risiko waktu tinggal sebesar 60%.

Tabel 5.31 Kategori dan Interval *Severity*

Peringkat	Kriteria Kesenjangan Dampak	Range Nilai
5	Penurunan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air memengaruhi proses produksi air bersih	≥ 81%
4	Penurunan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air dari kinerja awal unit pengolahan dioperasikan	61-80%
3	Penurunan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air sedang tetapi ada bagian penunjang yang tidak berfungsi	41-60%

Peringkat	Kriteria Keseniusan Dampak	Range Nilai
2	Penurunan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air kecil tapi perlu dilakukan usaha untuk penanganan	21-40%
1	Penurunan kinerja unit Instalasi Pengolahan Air tidak berpengaruh	≤ 20%

Tabel 5.32 Penilaian *Severity* Pada Bak Aerasi

Faktor risiko	Nilai <i>Severity</i>	Peringkat
Kecepatan transfer gas	60%	3
Jarak antar <i>stage</i>	0%	1
Tinggi jatuhan	0%	1

Berdasarkan Tabel 5.32 tingkat *severity* tertinggi pada aerasi terdapat pada kecepatan transfer gas pada bak aerasi yaitu sebesar 60%. Untuk faktor risiko jarak antar *stage* dan tinggi jatuhan sebesar 0%.

Tabel 5.33 Penilaian *Severity* Pada Bak Prasedimentasi

Faktor risiko	Nilai <i>Severity</i>	Peringkat
Debit influen	0%	1
Waktu tinggal	0%	1
Bilangan froude	60%	3
Bilangan reynold	80%	4
Beban permukaan	0%	1

Berdasarkan Tabel 5.33 tingkat *severity* tertinggi pada bak prasedimentasi terdapat pada jenis kegagalan bilangan reynold pada bak prasedimentasi yaitu sebesar 80%. Faktor risiko berupa bilangan froude sebesar 60%. Untuk sub faktor debit influen, beban permukaan dan waktu tinggal sebesar 0%.

Tabel 5.34 Penilaian *Severity* Pada Bak *Flashmix*

Faktor risiko	Nilai <i>Severitys</i>	Peringkat
Debit influen	0%	1
Waktu tinggal	0%	1
Gradien kecepatan	40%	2
Bilangan reynold	0%	1

Berdasarkan Tabel 5.34 tingkat *severity* tertinggi pada *flashmix* terdapat pada faktor risiko gradien kecepatan sebesar 40%. Untuk sub faktor debit influen, bilangan reynold dan waktu tinggal sebesar 0%.

Tabel 5.35 Penilaian *Severity* Pada Bak *Clearator*

Faktor risiko	Nilai <i>Severity</i> s	Peringkat
<i>Solid Loading Rate</i>	80%	4
<i>Overflowrate (OFR)</i>	0%	1
Waktu tinggal	60%	3
Gradien kecepatan	80%	4
Bilangan reynold	0%	1

Berdasarkan Tabel 5.35 tingkat *severity* tertinggi pada *clearator* terdapat pada faktor risiko gradien kecepatan dan SLR sebesar 80%. Faktor risiko waktu tinggal memiliki tingkat *severity* sebesar 60%. Untuk sub faktor bilangan reynold dan OFR sebesar 0%.

5.4.2 Penentuan *Occurance*

Occurance adalah tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (Pillay dan Wang, 2003). Penentuan nilai *Occurance* berdasarkan pada hasil analisis laboratorium, diskusi dengan pihak PDAM, data *logsheet* milik PDAM dan pengamatan yang dilakukan langsung di lapangan. Rentang nilai 1-5, dimana angka 1 menunjukkan risiko tersebut jarang terjadi, dan 5 menunjukkan risiko tersebut sering terjadi.

Perhitungan nilai *Occurance* mempertimbangkan banyaknya kegagalan yang terjadi pada unit pengolahan IPAM X. Perhitungan terkait banyaknya kegagalan yang dialami oleh aerasi, prasedimentasi, *flashmix* dan *clearator* dapat dilihat pada Lampiran A. Tabel 5.36 menggambarkan batasan kriteria penilaian *Occurance*.

Tabel 5.36 Batasan Kriteria Penilaian *Occurance*

Peringkat	Probabilitas Kejadian	Frekuensi
5	Sangat sering	≥ 17 kejadian dalam 1 bulan
4	Sering	13-16 kejadian dalam 1 bulan
3	Cukup sering	9-12 kejadian dalam 1 bulan
2	Kadang-kadang	5-8 kejadian dalam 1 bulan
1	Jarang	≤ 4 kejadian dalam 1 bulan

Pada masing-masing faktor risiko akan diberi bobot *Occurance*. Pemberian nilai *Occurance* didasarkan pada data

dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Misalnya, untuk faktor risiko kecepatan transfer gas pada bak aerasi, pemberian nilai *Occurance* sebesar 5 karena hasil perhitungan menunjukkan kecepatan transfer gas secara terus menerus tidak memenuhi kriteria desain. Batasan kriteria yang digunakan yaitu kriteria desain.

Tabel 5.37 Penilaian *Occurance* Pada Bak Aerasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Kecepatan transfer gas	19 kejadian	5
Jarak antar <i>stage</i>	0 kejadian	1
Tinggi jatuhan	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.37 dapat dilihat bahwa nilai *Occurance* tertinggi adalah faktor risiko kecepatan transfer gas dengan frekuensi 19 kejadian. Untuk faktor risiko jarak antar *stage* dan tinggi jatuhan sebanyak 0 kejadian.

Tabel 5.38 Penilaian *Occurance* Pada Bak Prasedimentasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Debit influen	13 kejadian	4
Waktu tinggal	0 kejadian	1
Bilangan froude	19 kejadian	5
Bilangan reynold	19 kejadian	5
Beban permukaan	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.38 dapat dilihat bahwa nilai *Occurance* tertinggi adalah faktor risiko bilangan reynold dan bilangan froude dengan frekuensi 19 kejadian, faktor risiko berupa debit influen terjadi sebanyak 13 kejadian. Untuk faktor risiko beban permukaan dan waktu tinggal sebanyak 0 kejadian.

Tabel 5.39 Penilaian *Occurance* Pada Bak *Flashmix*

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Debit influen	13 kejadian	4
Waktu tinggal	0 kejadian	1
Gradien kecepatan	18 kejadian	5
Bilangan reynold	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.39 dapat dilihat bahwa nilai *Occurance* tertinggi adalah gradien kecepatan terjadi sebanyak 18 kejadian, faktor risiko debit influen sebanyak 13

kejadian. Untuk faktor risiko waktu tinggal dan bilangan reynold sebanyak 0 kejadian.

Tabel 5.40 Penilaian *Occurance* Pada *Clearator*

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
<i>Solid Loading Rate</i>	19 kejadian	5
<i>Overflowrate (OFR)</i>	0 kejadian	1
Waktu tinggal	19 kejadian	5
Gradien kecepatan	19 kejadian	5
Bilangan reynold	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.40 dapat dilihat bahwa nilai *Occurance* tertinggi adalah faktor risiko SLR, gradien kecepatan dan waktu tinggal dengan frekuensi 19 kejadian. Untuk faktor risiko OFR dan bilangan reynold sebanyak 0 kejadian.

5.4.3 Penentuan *Detection*

Detection adalah tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dipasang (Pillay dan Wang, 2003). Rentang nilai *Detection* sebesar 1-5, dimana angka 1 menunjukkan kemungkinan untuk lewat dari kontrol (pasti terdeteksi) sangat kecil, dan 5 menunjukkan kemungkinan untuk lolos dari kontrol (tidak terdeteksi) adalah sangat besar.

Penentuan nilai *Detection* didasarkan pada seringnya kegagalan terjadi. Hal ini dilakukan karena jumlah kegagalan yang terjadi karena metode pencegahan yang dilakukan kurang efektif. Metode pencegahan yang kurang efektif menyebabkan kegagalan tersebut terjadi berulang-ulang. Tabel 5.41 menggambarkan batasan kriteria penelitian *Detection*.

Tabel 5.41 Batasan Kriteria Penilaian *Detection*

Peringkat	Kriteria	Berdasar pada frekuensi kejadian
5	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang	≥ 17 kejadian dalam 1 bulan

4	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang	13-16 kejadian dalam 1 bulan
3	Kemungkinan penyebab terjadi sedang. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang	9-12 kejadian dalam 1 bulan
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah	5-8 kejadian dalam 1 bulan
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan bahwa penyebab mungkin muncul	≤ 4 kejadian dalam 1 bulan

Pada masing-masing faktor risiko akan diberi bobot *Detection*. Pemberian nilai *Detection* didasarkan pada data dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Misalnya, untuk faktor risiko kecepatan transfer gas pada bak aerasi, pemberian nilai *Detection* sebesar 5 karena hasil perhitungan menunjukkan metode pencegahan untuk risiko kecepatan transfer gas tidak efektif sehingga selalu tidak memenuhi kriteria desain. Batasan kriteria yang digunakan yaitu kriteria desain.

Tabel 5.42 Penilaian *Detection* Pada Bak Aerasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Kecepatan transfer gas	19 kejadian	5
Jarak antar <i>stage</i>	0 kejadian	1
Tinggi jatuhan	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.42 dapat dilihat bahwa nilai *Detection* tertinggi adalah faktor risiko kecepatan transfer gas dengan frekuensi 19 kejadian akibat lolos dari metode pencegahan yang dilakukan. Untuk faktor risiko jarak antar *stage* dan faktor risiko tinggi jatuhan sebanyak 0 kejadian artinya metode pencegahan yang dilakukan sudah efektif.

Tabel 5.43 Penilaian *Occurance* Pada Bak Prasedimentasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Debit influen	13 kejadian	4
Waktu tinggal	0 kejadian	1
Bilangan froude	19 kejadian	5
Bilangan reynold	19 kejadian	5
Beban permukaan	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.43 dapat dilihat bahwa nilai *Detection* tertinggi adalah faktor risiko bilangan reynold dan bilangan froude dengan frekuensi 19 kejadian yang lolos dari metode pencegahan yang sudah dilakukan, faktor risiko berupa debit influen terjadi sebanyak 13 kejadian. Untuk faktor risiko beban permukaan dan waktu tinggal sebanyak 0 kejadian yang artinya metode pencegahan yang dilakukan sudah efektif.

Tabel 5.44 Penilaian *Detection* Pada Bak *Flashmix*

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Debit influen	13 kejadian	4
Waktu tinggal	0 kejadian	1
Gradien kecepatan	18 kejadian	5
Bilangan reynold	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.44 dapat dilihat bahwa nilai *Detection* tertinggi adalah faktor risiko gradien kecepatan terjadi sebanyak 18 kejadian, faktor risiko berupa debit influen terjadi sebanyak 13 kejadian yang lolos dari metode pencegahan yang sudah dilakukan. Untuk faktor risiko bilangan reynold dan waktu tinggal sebanyak 0 kejadian yang artinya risiko ini sudah sesuai dengan metode pencegahan yang dilakukan.

Tabel 5.45 Penilaian *Detection* Pada Clearator

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
<i>Solid Loading Rate</i>	19 kejadian	5
<i>Overflowrate (OFR)</i>	0 kejadian	1
Waktu tinggal	19 kejadian	5
Gradien kecepatan	19 kejadian	5
Bilangan reynold	0 kejadian	1

Berdasarkan Tabel 5.45 dapat dilihat bahwa nilai *Detection* tertinggi adalah faktor risiko SLR, waktu tinggal dan gradien kecepatan terjadi sebanyak 19 kejadian yang lolos dari metode pencegahan yang sudah dilakukan. Untuk faktor risiko OFR dan bilangan reynold sebanyak 0 kejadian yang artinya risiko ini sudah sesuai dengan metode pencegahan yang dilakukan.

5.4.1 Penentuan RPN (*Risk Priority Number*)

RPN merupakan hasil perkalian penilai *severity*, *occurrence* dan *detection* (Pillay dan Wang, 2003). RPN digunakan untuk menentukan risiko yang harus diprioritaskan untuk diperbaiki. Penentuan RPN ini berdasarkan pada nilai risiko yang besar agar tidak memengaruhi proses produksi.

Nilai RPN didapatkan dari perkalian nilai *Severity*, *Occurance* dan *Detection* yang telah dihitung sebelumnya. Nilai RPN ditentukan untuk masing masing faktor risiko. Berikut merupakan hasil RPN untuk masing masing faktor risiko dapat dilihat di Tabel 5.46.

Tabel 5.46 Nilai RPN Untuk Setiap Risiko

Proses	Faktor risiko	S	O	D	RPN
Aerasi	Kecepatan transfer gas	3	5	5	75
	Jarak antar <i>stage</i>	1	1	1	1
	Tinggi Jatuhan	1	1	1	1
Prasedimentasi	Debit	1	4	4	16
	Waktu tinggal	1	1	1	1
	Beban permukaan	1	1	1	1
	Bilangan reynold	4	5	5	100
	Bilangan froude	3	5	5	75
Flashmix	Debit	1	4	4	16
	Waktu tinggal	1	1	1	1
	Gradien kecepatan	2	5	5	50
	Bilangan reynold	1	1	1	1
	<i>Solid Loading Rate</i>	4	5	5	100
Clearator	<i>Overflowrate (OFR)</i>	1	1	1	1
	Waktu tinggal	3	5	5	75
	Gradien kecepatan	4	5	5	100
	Bilangan reynold	1	1	1	1

Berdasarkan Tabel 5.12 pembobotan untuk setiap risiko, bobot terbesar terdapat pada proses aerasi. Proses aerasi dianggap sebagai faktor yang paling berpengaruh pada kandungan zat organik dalam air produksi IPAM X. RPN terbesar yang akan dibahas lebih lanjut berasal dari proses aerasi. Berdasarkan Tabel 4.46 risiko terbesar pada proses aerasi adalah faktor risiko kecepatan transfer gas sebesar 75.

Pemilihan risiko terbesar berdasarkan pada dampak dari gagalnya proses dari setiap unit. Pada proses aerasi sendiri yang kurang berjalan optimal menyebabkan keberadaan zat organik pada air olahan. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka faktor risiko terbesar yang menyebabkan penurunan kualitas berupa kandungan zat organik pada air produksi adalah kecepatan transfer gas pada proses aerasi. Kecepatan transfer gas pada proses aerasi yang kemudian akan diberikan usulan perbaikan agar segera diperbaiki.

5.5 Usulan Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis risiko, diperoleh bahwa risiko terbesar dalam IPAM X adalah kecepatan transfer gas pada proses aerasi. Risiko terbesar kemudian akan diberikan usulan perbaikan untuk mengatasi penurunan kualitas berupa kandungan zat organik pada air produksi. Usulan perbaikan ini difokuskan pada risiko yang besar dan memiliki bobot yang besar untuk dicari akar permasalahan yang telah diidentifikasi dengan diagram *fishbone*.

Faktor risiko yang memiliki RPN besar dan bobot yang besar yaitu kecepatan transfer gas pada proses aerasi. Usulan perbaikan sebaiknya segera dilakukan agar dampak yang ditimbulkan faktor risiko kecepatan transfer gas bisa segera diselesaikan. Usulan perbaikan yang akan dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut.

Bak aerasi merupakan proses transfer oksigen dari fase gas ke fase cair. Transfer gas merupakan fenomena fisika, dimana gas dapat bertukar antara fase cair dan gas (Popel, 1974). Transfer gas dilakukan untuk meningkatkan kandungan oksigen yang terkandung dalam air baku. Proses aerasi yang digunakan berupa *cascade aerator*. Kecepatan transfer gas memengaruhi jumlah oksigen pada proses aerasi. Jumlah oksigen yang terlalu kecil menggambarkan keberadaan oksigen yang terlalu minim pada proses aerasi. Keberadaan oksigen yang minim menyebabkan penguraian zat organik tidak optimal. Penguraian zat organik yang belum optimal pada aerasi menyebabkan kandungan zat organik pada air produksi.

Kegagalan terbesar dalam proses pengolahan IPAM X berupa kecepatan transfer gas yang mempengaruhi proses pengolahan. Air baku yang sudah mengandung prekursor berupa zat organik dengan proses pengolahan yang kurang optimal dapat menghasilkan sisa kandungan zat organik dalam air produksi sebesar 31,4 mg/l K₄. Zat organik dapat menjadi prekursor untuk THM (Trihalomethane) pada proses desinfeksi. THM merupakan hasil samping dari proses desinfeksi. THM dapat terbentuk dari proses alami berupa pelapukan daun dan sisa tumbuhan dan akibat kegiatan manusia berupa limbah domestik. THM merupakan salah satu penyebab penyakit kanker bagi kesehatan manusia.

Hasil perhitungan menunjukkan kecepatan transfer gas sangat kecil sehingga perlu ditingkatkan lagi. Oleh karena itu, perlu adanya suatu upaya perbaikan untuk meningkatkan angka kecepatan transfer oksigen. Upaya yang dapat dilakukan yaitu penambahan aerator sistem diffusi. Pemilihan aerator sistem diffusi karena dapat menguraikan zat organik hingga 80% (Masduqi dan Asomadi, 2012). Tujuan penambahan aerator sistem difusi yaitu menambah kecepatan transfer oksigen agar proses aerasi berjalan optimal. Proses aerasi yang optimal merupakan bentuk upaya mengurangi risiko keberadaan zat organik pada air produksi. Aerator sistem difusi terdiri dari pipa, selang dan kompresor. Contoh aerasi sistem difusi untuk penggunaan kolam dengan luas $\leq 220 \text{ m}^2$ dapat dilihat



Gambar 5.5 Aerator sistem difusi

Aerator dengan sistem difusi dapat diletakkan di outlet antara aerasi dan prasedimentasi. Aerator seperti gambar diatas berdimensi panjang ± 100 cm. Pemasangan aerator difusi diharapkan dapat menambah kecepatan transfer gas. Aerator dengan sistem difusi tidak membutuhkan luas yang terlalu besar sehingga dapat digunakan sebagai aerator tambahan. Dengan penambahan sistem aerator difusi diharapkan tidak mengganggu proses aerasi air baku sehingga penyediaan air minum dapat berjalan secara kontinyu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

1. Aerator

Adapun data-data eksisting unit aerator adalah sebagai berikut

Jumlah bak	= 2 buah
Bentuk	= <i>Cascade</i>
Diameter (D)	= 12 m
Tinggi (H)	= 2 m
Tinggi trap (h)	= 75 cm
Jumlah trap (n)	= 3 cm
Kecepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/detik
Suhu air baku (T)	= 28°C
Viskositas kinematis (v)	= $8,36 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$

Kemudian dihitung berdasarkan data eksisting yang telah ada

Debit inlet

$$\begin{aligned}\text{Debit inlet} &= \text{Debit rata rata/ jumlah aerator} \\ &= 2000,38/2 \\ &= 1000,19\end{aligned}$$

Konsentrasi jenuh O_2 (Cs)

$$(Cs)_{760} = \frac{475 - 2,65 S}{33,5 + T}$$

Dimana:

(Cs)₇₆₀ = nilai kejenuhan oksigen pada tekanan udara 760 mmHg (mg/l)

S = konsentrasi padatan terlarut dalam air (g/l)

T = temperatur (°C)

$$\begin{aligned}(Cs)_{760} &= \frac{475 - 2,65 S}{33,5 + T} \\ (Cs)_{760} &= \frac{475 - 2,65 (3,01)}{33,5 + 29} \\ &= 7,47 \text{ mmHg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Cs &= (Cs)_{760} \frac{P-p}{760-p} \\ Cs &= 7,58 \frac{751,9 - 30,2}{760 - 30,2} \\ &= 7,49 \text{ mmHg (mg/l)}\end{aligned}$$

Koefisien transfer gas (K_{La})

$$(K_{La_{29}}) = (K_{La_{15}}) \chi \theta^{(t-15)}$$

Dimana:

$(K_{La})_{28}$ = koefisien transfer oksigen pada suhu 29°C

$(K_{La})_{15}$ = koefisien transfer oksigen pada suhu 15°C (1,85)

Θ = koefisien empiris (untuk aerator umumnya bernilai 1,024)

$$(K_{La_{29}}) = (K_{La_{15}}) \times \theta^{(t-15)}$$

$$(K_{La_{29}}) = 1,85 \times 1,024^{(29-15)}$$

$$= 2,578/\text{jam}$$

$$= 0,0007/\text{detik}$$

Waktu kontak (t)

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Dimana:

t = waktu kontak (detik)

H = jarak antar *stage* (meter)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 0,75 \times 3}{9,81}} = 0,4 \text{ dt}$$

Koefisien transfer gas total (K_2)

$$k_2 = \frac{A}{V} \times K_{La}$$

$$k_2 = \frac{113 \text{ m}}{1 \text{ m}^3/\text{dt}} \times 0,0007$$

$$= 0,0791/\text{dt}$$

Koefisien efisiensi transfer gas (K)

$$K = 1 - e^{-K_2 \times t}$$

$$K = 1 - e^{-0,0791 \times 0,4} = 0,03114/\text{dt}$$

Kapasitas oksigenisasi (O_c)

$$\begin{aligned} O_c &= K_2 \times C_s \\ &= 0,0791/\text{dt} \times 7,49 \text{ g}/\text{m}^3 \\ &= 0,592 \text{ gr } O_2/\text{m}^3.\text{det} \end{aligned}$$

Kecepatan transfer gas

$$= \frac{1 \frac{\text{m}^3}{\text{dt}} \times \frac{60 \text{ dt}}{\text{menit}}}{113 \text{ m}} = 0,53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{menit}$$

Luas

$$= \frac{113 \text{ m}}{1 \text{ m}^3/\text{dt}} = 113 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{detik}$$

Jumlah Oksigen yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned} \text{kg O}_2/\text{jam} &= (Kla)_{29^\circ\text{C}} \times Cs \times V \\ &= 2,578/\text{jam} \times 7,49 \times 10^{-6} \text{ kg O}_2/\text{L} \times 226.000 \text{ L} \\ &= 4,36 \text{ kg O}_2/\text{jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Kecepatan transfer gas	0,8 – 1,5 m ³ /m ² .menit	0,53 m ³ /m ² .menit	Tidak Memenuhi
Jarak antar stage	30-75 cm	75 cm	Memenuhi
Luas	85-105 m ² /m ³ .menit	113 m ² /m ³ .menit	Tidak Memenuhi
Tinggi	1-3 m	2,25 m	Memenuhi

2. Prasedimentasi

Adapun data-data eksisting unit prasedimentasi adalah sebagai berikut :

Jumlah bak = 4 buah

Bentuk = *Rectangular*

Panjang (p) = 80 m

Lebar (l) = 15 m

Kedalaman (h) = 4 m

Kecepatan gravitasi (g) = 9,81 m/detik

Suhu air baku (T) = 28°C

Viskositas kinematis (v) = 8,36 x 10⁻⁷ m²/detik

Kemudian dihitung berdasarkan data eksisting yang telah ada

Debit inlet

Debit inlet = Debit dari data kinerja pompa

= 2000,38 liter/detik

Waktu tinggal (td)

Q total = 2 m³/detik

Q tiap unit = $\frac{Q \text{ total}}{\text{jumlah unit}} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ m}^3/\text{detik}$

Volume per unit = p x l x h

= 80 m x 15 m x 4 m

= 4800 m³

$$\text{Waktu tinggal (td)} = \frac{\text{Volume per unit}}{Q \text{ per unit}} = \frac{4800}{0,5} = 9600\text{s} \\ = 2,667\text{jam}$$

Beban permukaan

$$Q \text{ per unit} = 0,5 \text{ m}^3/\text{detik} = 1800 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Luas permukaan (As)} = p \times l \\ = 80 \text{ m} \times 15 \text{ m} \\ = 1200 \text{ m}$$

$$\text{Beban permukaan} = \frac{Q}{\text{Luas permukaan}} = \frac{1800}{1200} = 1,5 \text{ m/jam}$$

Bilangan Reynold (Nre)

$$\text{Kecepatan Horizontal (Vh)} = \frac{Q}{l \times h} = \frac{0,5}{15 \times 4} = 0,0083 \text{ m/detik}$$

$$\text{Luas permukaan basah (R)} = \frac{l \times h}{l + 2h} = \frac{15 \times 4}{15 + 2(4)} = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Bilangan Reynold (Nre)} = \frac{Vh \times R}{\nu} = \frac{0,0083 \times 2,6}{8,36 \times 10^{-7}} = 26003,7$$

Bilangan Froude (Nfr)

$$\text{Bilangan Froude (Nfr)} = \frac{Vh^2}{g \times R} = \frac{0,0083^2}{9,81 \times 2,6} = 2,71 \times 10^{-6}$$

Dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria desain sehingga dapat dilihat sebagai berikut

Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Debit	2000 liter/detik	2000,38 liter/detik	Memenuhi
Waktu tinggal	1-3 jam	2,67 jam	Memenuhi
Beban permukaan	2-3 m/jam	1,5 m/jam	Memenuhi
Bilangan Reynold	<2000	26003	Tidak Memenuhi
Bilangan Froude	>10 ⁻⁵	2,71 x 10 ⁻⁶	Tidak Memenuhi

3. Flashmix

Adapun data-data eksisting unit flashmix adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bak} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Bentuk} &= \text{Rectangular} \\ \text{Panjang (p)} &= 4 \text{ m} \\ \text{Lebar (l)} &= 3 \text{ m} \\ \text{Kedalaman (h)} &= 2,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan gravitasi (g) = 9,81 m/detik

Suhu air baku (T) = 28°C

Viskositas kinematis (v) = 8,36 x 10⁻⁷ m²/detik

Kemudian dihitung berdasarkan data eksisting yang telah ada

Debit inlet

Debit inlet = Debit rata rata dari data kinerja pompa

= 2000,38 liter/detik

Waktu tinggal (td)

Q total = 2 m³/detik

Q tiap unit = $\frac{Q \text{ total}}{\text{jumlah unit}} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m}^3/\text{detik}$

Volume per unit = p x l x h
= 4 m x 3 m x 2,7 m
= 32,4 m³

Waktu tinggal (td) = $\frac{\text{Volume per unit}}{Q \text{ per unit}} = \frac{32,4}{1} = 32,4 \text{ detik}$

Kecepatan Gradien (G)

Headloss (hf) = 3 m

Gradien kecepatan (G) = $\sqrt{\frac{g \times hf}{td \times v}} = \sqrt{\frac{9,81 \times 3}{32,4 \times 8,36 \times 10^{-7}}}$
= 1042,3/detik

G.td

G.td = G x td
= 1042,364/detik x 32,4 detik
= 33772,6

Bilangan Reynold (Nre)

Kecepatan Horizontal (Vh) = $\frac{Q}{l \times h} = \frac{1}{3 \times 2,7} = 0,1234$
m/detik

Luas permukaan basah (R) = $\frac{l \times h}{l + 2h} = \frac{3 \times 2,7}{3 + 2(2,7)} = 0,96 \text{ m}$

Bilangan Reynold (Nre) = $\frac{Vh \times R}{v} = \frac{0,1234 \times 0,96}{8,36 \times 10^{-7}}$
= 142401,5

Dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria desain sehingga dapat dilihat sebagai berikut

Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Debit	2000 liter/detik	2000,38 liter/detik	Memenuhi

Waktu tinggal	10-60 s	32,4 s	Memenuhi
Kecepatan Gradien	300-1000/detik	1042/detik	Tidak Memenuhi
Bilangan Reynold	>2000	142401	Memenuhi

Penambahan mechanical aerator

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan } O_2 &= \text{Power} \times \text{Oxygen Transfer Rate} \\
 &= 20 \text{ hp} \times 3 \text{ lb/ hp jam} \\
 &= 60 \text{ lb/ jam} = 7550 \text{ mg/detik} \\
 \text{Peningkatan } O_2 &= 7550 \text{ mg/detik} / \text{Debit} \\
 &= 7550 \text{ mg/detik} / 2000 \text{ Liter/detik} \\
 &= 3,775 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

4. Clearator

Adapun data-data eksisting unit clearator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah bak} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{Bentuk} &= \text{Kerucut} \\
 \text{Diamter Atas (D1)} &= 23 \text{ m} \\
 \text{Diameter Bawah (D2)} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman} &= 5,75 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan gravitasi (g)} &= 9,81 \text{ m/detik} \\
 \text{Suhu air baku (T)} &= 28^\circ\text{C} \\
 \text{Viskositas kinematis (v)} &= 8,36 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik} \\
 \text{Kemudian dihitung berdasarkan data eksisting yang telah ada} \\
 \text{Overflowrate (OFR)} &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D1^2 - D2^2) \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (23^2 - 3^2) \\
 &= 408,2 \text{ m}^2 \\
 Q \text{ total} &= 2 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 Q \text{ tiap unit} &= \frac{Q \text{ total}}{\text{jumlah unit}} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{OFR} &= \frac{Q}{A_p} \times \frac{l}{[h \times (\cos \alpha) + l (\cos^2 \alpha)]} \\
 &= \frac{0,5}{408,2} \times \frac{0,076}{[1,5 \times (\cos 60) + 0,076 (\cos^2 60)]} \\
 &= 7,04 \text{ m/hari}
 \end{aligned}$$

Waktu tinggal (td)

$$\text{Volume per unit} = A_p \times h$$

$$= 408,2 \times 5,75$$

$$= 2347,15 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu tinggal (td)} = \frac{\text{Volume per unit}}{Q \text{ per unit}} = \frac{2347,15}{0,5} = 4694,3 \text{ s} =$$

78 menit

Gradien kecepatan (G)

$$A = 0,25 \times \pi \times d^2 = 0,25 \times 3,14 \times 0,25 = 0,049 \text{ m}^2$$

$$V \text{ inlet} = \frac{Q}{A} = \frac{0,5}{0,049} = 10,2 \text{ m/detik}$$

$$Hf = k \frac{v^2}{2g} = 1 \frac{10,2^2}{2 \times 9,81} = 5,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol kompartemen I} &= 0,25 \times 3,14 \times (\text{Datas}^2 + \text{Dbawah}^2) \times t \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (300^2 + 300^2) \times 150 \\ &= 21.195.000 \text{ cm}^3 = 21,195 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$Td = \frac{Vol}{Q} = \frac{21,195}{0,5} = 42,39 \text{ detik} = 0,7065 \text{ menit}$$

$$\text{Gradien kecepatan (G)} = \sqrt{\frac{g \times hf}{td \times v}} = \sqrt{\frac{9,81 \times 5,3}{42,39 \times 8,36 \times 10^{-7}}} = 1211/\text{detik}$$

Bilangan Reynold (Nre)

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan Horizontal (Vh)} &= \frac{Q}{Atube \times \sin 60} = \frac{0,5}{408,2 \times 0,87} = \\ &0,0014 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Luas permukaan basah (R)} = \frac{l \times h}{l + 2h} = \frac{3 \times 2,7}{3 + 2(2,7)} = 0,96 \text{ m}$$

$$\text{Bilangan Reynold (Nre)} = \frac{Vh \times R}{v} = \frac{0,0014 \times 0,96}{8,36 \times 10^{-7}} = 1607,65$$

Solid Loading Rate

$$\text{Sudut kemiringan tube settler} = 60^\circ$$

$$\text{Debit} = 500 \text{ Liter/detik}$$

$$\text{Luas permukaan (A)} = 408,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (h) bak} = 6,75 \text{ m}$$

$$V_{\text{settler}} = \frac{Q}{[A (\sin \alpha + \ln \cos \alpha)]} =$$

$$\frac{0,5}{[408,2 (\sin 60 + \ln \cos 60)]} = 7,08 \cdot 10^{-3} \text{ m/detik}$$

$$\text{Loading rate} = \frac{V_{\text{settler}}}{\left[\frac{Q}{A}\right]} = \frac{0,00708}{0,5/408,2} = 5,78$$

Kecepatan settling

$$Vs = \frac{H}{t} = \frac{6,75 \text{ m}}{1,3 \text{ jam} \times 3600 \text{ dt}} = 0,00625 \text{ m/s}$$

Dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan kriteria desain sehingga dapat dilihat sebagai berikut

Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Overflowrate	24-550 m/hari	7,09 m/hari	Memenuhi
Waktu tinggal	15-45 menit	78 menit	Tidak Memenuhi
Gradien Kecepatan	10-100/detik	1211	Tidak Memenuhi
Bilangan Reynold	<2000	1607,65	Memenuhi
Solid Loading Rate	1,25 – 3,7 m/jam	5,78 m/jam	Tidak Memenuhi

AERATOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Debit Influen	2121	2140	1950	1893	1572	2063	2069	1986	2010	2034	2026	2003	2093	2038	2020	1979	2026	1969	2015
Debit per unit	1061	1070	975	946	786	1032	1034	993	1005	1017	1013	1002	1046	1019	1010	989	1013	984	1007
kecepatan transfer gas	0,56	0,57	0,52	0,50	0,42	0,55	0,55	0,53	0,53	0,54	0,54	0,53	0,56	0,54	0,54	0,53	0,54	0,52	0,53

PRASEDIMENTASI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Debit Influen	2121	2140	1950	1893	1572	2063	2069	1986	2010	2034	2026	2003	2093	2038	2020	1979	2026	1969	2015
Debit per unit	530	535	487	473	393	516	517	497	502	509	507	501	523	510	505	495	507	492	504
Waktu detensi	2,51	2,49	2,74	2,82	3,39	2,58	2,58	2,68	2,65	2,62	2,63	2,66	2,55	2,62	2,64	2,70	2,63	2,71	2,65
Kecepatan Horizontal	0,009	0,009	0,008	0,008	0,007	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Bilangan reynold	29370	29627	25350	25148	21307	28570	28041	26395	26706	27031	27461	27153	28361	27082	26848	26817	26344	25600	26197
Bilangan froude	3,1E-06	3,106E-06	2,579E-06	2,43E-06	1,68E-06	2,89E-06	2,9E-06	2,68E-06	2,74E-06	2,81E-06	2,79E-06	2,72E-06	2,97E-06	2,82E-06	2,77E-06	2,66E-06	2,785E-06	2,63E-06	2,75E-06
Beban permukaan	1,591	1,605	1,462	1,419	1,179	1,548	1,552	1,490	1,507	1,526	1,520	1,503	1,569	1,529	1,515	1,484	1,520	1,477	1,511

FLASHMIX	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Suhu air baku	30,8	30,5	25,9	29,1	29,6	31	30,35	28,5	29,2	29,3	30,2	30,1	29,95	28,6	28,9	29,85	28,15	27,8	28,35
viskositas	7,9E-07	7,85E-07	8,36E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,36E-07	8,36E-07	8,36E-07
gradien kecapatan	1108	1113	1029	1025	944	1093	1082	1050	1056	1063	1071	1065	1089	1064	1059	1059	1049	1034	1046
Debit Influen	2121	2140	1950	1893	1572	2063	2069	1986	2010	2034	2026	2003	2093	2038	2020	1979	2026	1969	2015
Waktu detensi	31	30	33	34	41	31	31	33	32	32	32	32	31	32	32	33	32	33	32
kecapatan horizontal	0,13	0,13	0,12	0,12	0,10	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
Bilangan reynold	160837	162241	138821	137714	116679	156457	153557	144545	146245	148027	150383	148694	155311	148306	147025	146853	144267	140191	143458
CLEARATOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Debit influen	2121,1	2139,6	1949,7	1892,5	1572,1	2063,4	2069,0	1986,4	2009,8	2034,2	2026,2	2003,4	2092,6	2038,1	2020,5	1978,6	2026,2	1969,0	2014,8
Debit per unit	0,53	0,53	0,49	0,47	0,39	0,52	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,52	0,51	0,51	0,49	0,51	0,49	0,50
OFR	2,9	2,9	2,7	2,6	2,1	2,8	2,8	2,7	2,7	2,8	2,8	2,7	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
Suhu air baku	30,8	30,5	25,9	29,1	29,6	31,0	30,4	28,5	29,2	29,3	30,2	30,1	30,0	28,6	28,9	28,8	28,2	27,8	28,4
viskositas	7,9E-07	7,85E-07	8,36E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,02E-07	8,18E-07	8,18E-07	8,02E-07	8,36E-07	8,36E-07	8,36E-07
V inlet	10,8	10,9	9,9	9,6	8,0	10,5	10,5	5,7	5,2	5,3	5,5	5,4	5,3	5,8	5,5	5,4	5,2	5,4	5,1
Headloss	6,0	6,1	5,0	4,7	3,3	5,6	5,8	75,6	77,9	76,9	77,2	78,1	74,8	76,8	77,4	79,1	77,2	79,5	77,7
waktu detensi flok	73,8	73,1	80,3	82,7	99,5	75,8	75,6	89,2	90,7	92,4	92,7	91,2	97,3	92,6	91,4	90,6	87,0	90,4	90,0
Gradien kecapatan	1004,3	1017,5	857,6	829,2	634,0	963,6	957,2	891,6	907,4	924,0	927,7	912,1	973,6	926,6	914,7	895,2	908,6	870,4	901,0
Kecepatan horizontal	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bilangan reynold	1826,1	1842,0	1576,1	1563,5	1324,7	1776,3	1743,4	1641,1	1660,4	1680,6	1707,4	1688,2	1763,3	1683,8	1669,2	1667,3	1637,9	1591,7	1628,7
V settler	0,007	0,007	0,007	0,007	0,005	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Solid Loading rate	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650	5,650

LAMPIRAN B

PROSEDUR LABORATORIUM ANALISIS KEKERUHAN

Alat dan Bahan:

1. Turbidimeter
2. Aquades (Air Blangko)
3. Air Sampel

Prosedur Penelitian:

1. Nyalakan power, kemudian masukkan blanko dan set alat tersebut pada set zero (0)
2. Masukkan sampel air kedalam tabung dan masukkan tabung kedalam alat turbidimeter
3. Catat angka yang dihasilkan.

PROSEDUR LABORATORIUM ANALISIS KLORIN BEBAS

Alat dan Bahan:

1. Comparator dan kuvet
2. DPD No. 1

Prosedur Penelitian:

1. Ambil contoh uji langsung dengan kuvet comparator sebanyak 10 mL.
2. Masukkan DPD No.1 sebanyak 1 buah
3. Kocok dan bandingkan dengan warna pada komparator yang sama.

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM TOTAL COLIFORM

Alat:

1. tabung reaksi ukuran 16 mm x 150 mm dan 13 mm x 100 mm
2. cawan petri ukuran 15 mm x 90 mm
3. tabung *durham*
4. kapas lemak
5. neraca analitik
6. pipet ukur 1ml, 5 ml dan 10 ml
7. botol pengencer
8. inkubator $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
9. *waterbath* tertutup dengan sirkulasi $45^{\circ}\text{C} + 0,5^{\circ}\text{C}$

Bahan Pereaksi:

1. *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLBB)
2. *Lauryl Tryptose Broth* (LTB)
3. *EC Broth*
4. *Levine's Eosin Methylen Blue* (L-EMB) agar
5. *Tryptone* (Tryptophane) *Broth* (TB)
6. *MR-VP Broth*
7. *Simmon Citrate Agar*
8. *Plate Count Agar*
9. Larutan *Butterfield's Phosphate Buffered* (BFP)
10. Pereaksi Kovacs
11. Pereaksi VP
12. Indikator MR
13. Pereaksi pewarnaan gram

Prosedur Penelitian:

1. Uji pendugaan coliform (Presumptive coliform)

- a. Siapkan pengenceran 10^{-2} dengan cara melarutkan 1 ml larutan 10^{-1} ke dalam 9 ml larutan pengencer BFP. Lakukan pengenceran selanjutnya sesuai dengan pendugaan kepadatan populasi contoh. Pada setiap pengenceran dilakukan pengocokan minimal 25 kali.
- b. Pindahkan dengan menggunakan pipet steril, sebanyak 1 ml larutan dari setiap pengenceran ke dalam 3 seri tabung lauryl tryptose Broth (LTB) yang berisi tabung durham.
- c. Inkubasi tabung-tabung tersebut selama 48 jam \pm 2 jam pada suhu $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Perhatikan gas yang terbentuk setelah inkubasi 24 jam dan inkubasikan kembali tabung-tabung negatif selama 24 jam. Tabung positif ditandai dengan kekeruhan dan gas dalam tabung durham.
- d. Lakukan "Uji penegasan coliform" untuk tabung-tabung positif.

2. Uji penegasan coliform (confirmed coliform)

- a. Inokulasikan tabung-tabung LTB yang positif ke tabung-tabung BGLB Broth yang berisi tabung durham dengan menggunakan jarum ose,. Inkubasi BGLB Broth yang telah diinokulasi selama 48 jam \pm 2 jam pada suhu $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- b. Periksa tabung-tabung BGLB yang menghasilkan gas selama 48 jam \pm 2 jam pada suhu 35°C \pm 1°C. Tabung positif ditandai dengan kekeruhan dan gas dalam tabung durham.
 - c. Tentukan nilai angka paling memungkinkan (APM) berdasarkan jumlah tabung-tabung BGLB yang positif dengan menggunakan Angka Paling Memungkinkan (APM). Nyatakan nilainya sebagai “APM/g coliform”
- 3. Uji pendugaan *Escherichia coli* (faecal coliform, presumptive *Escherichia coli*)**
- a. Inokulasikan dari setiap tabung LTB yang positif ke tabung-tabung EC *Broth* yang berisi tabung *durham* dengan menggunakan jarum ose,. Inkubasi EC *Broth* dalam *waterbath* selama 48 jam \pm 2 jam pada suhu 45°C \pm 0,5°C. *Waterbath* harus dalam keadaan bersih, air di dalamnya harus lebih tinggi dari tinggi cairan yang ada dalam tabung yang akan diinkubasi.
 - b. Periksa tabung-tabung EC *Broth* yang menghasilkan gas selama 24 jam \pm 2 jam, jika negatif inkubasikan kembali sampai 48 jam \pm 2 jam. Tabung positif ditandai dengan kekeruhan dan gas dalam tabung *durham*.
 - c. Tentukan nilai angka paling memungkinkan (APM) berdasarkan jumlah tabung-tabung EC yang positif dengan menggunakan Angka Paling Memungkinkan (APM). Nyatakan nilainya sebagai “APM/g *faecal coliform*”.
- 4. Uji penegasan *Escherichia coli* (confirmed *Escherichia coli*)**
- a. Dari tabung-tabung EC *Broth* yang positif dengan menggunakan jarum ose gores ke LEMB agar. Inkubasi selama 24 jam \pm 2 jam pada suhu 35°C + 1°C.
 - b. Koloni *Escherichia coli* terduga memberikan ciri yang khas (*typical*) yaitu hitam pada bagian tengah dengan atau tanpa hijau metalik.
 - c. Ambil lebih dari satu koloni (*typical*) *Escherichia coli* dari masing-masing cawan LEMB dan goreskan ke media PCA miring dengan menggunakan jarum tanam. Inkubasi selama 24 jam \pm 2 jam pada suhu 35°C+ 1°C.

- d. Jika koloni yang khas (*typical*) tidak ada, pindahkan 1 atau lebih koloni yang tidak khas (*typical*) *Escherichia coli* ke media PCA miring.

Jumlah biakan pada media BGLBB yang memberikan hasil positif pada uji pelengkap untuk setiap seri tabung (dengan sampel pada media kaldu laktosa 10 ml, 1 ml dan 0,1 ml) dicatat. Dengan data tersebut, jumlah bakteri coliform atau *E.coli* tinja pada setiap 100 ml sampel air dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel Hopkins.

PROSEDUR ANALISIS NILAI PERMANGANAT (ZAT ORGANIK)

Alat dan Bahan:

1. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4 N yang bebas organik.
2. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
3. Larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
4. Pemanas Listrik
5. Buret 25 mL atau 50 mL
6. Erlenmeyer 250 mL 1 buah
7. Gelas ukur 100 mL
8. Pipet 10 mL, 1 mL

Prosedur Percobaan:

1. Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur.
2. Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
3. Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
4. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
5. Tambahkan 10 mL larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N.
6. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
7. Tambahkan 1 mL larutan Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
8. Titrasi dengan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
9. Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain.

1. Sumber kegagalan dalam sistem produksi IPAM X berdasarkan hasil analisis laboratorium yang telah dilakukan yaitu pada proses aerasi, prasedimentasi *flashmix*, dan *clearator*. Sumber kegagalan pada proses aerasi terdiri dari kecepatan transfer gas, jarak antar *stage* dan tinggi jatuhan. Sumber kegagalan pada prasedimentasi terdiri dari debit, beban permukaan, waktu tinggal, bilangan reynold dan bilangan froude. Sumber kegagalan pada *flashmix* terdiri dari debit, waktu tinggal, gradien kecepatan, dan bilangan reynold. Sumber kegagalan pada *clearator* terdiri dari OFR, SLR, waktu tinggal, bilangan reynold dan gradien kecepatan.
2. Sumber kegagalan terbesar pada proses pengolahan IPAM X yaitu pada faktor risiko kecepatan transfer gas pada proses aerasi dengan RPN sebesar 75.
3. Perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengatasi risiko yaitu penambahan aerator difusi. Aerator difusi dipilih karena dapat menguraikan zat organik secara optimal. Aerator difusi juga tidak membutuhkan tempat yang luas

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah penelitian lanjutan dapat dilakukan di IPAM lain untuk mengetahui faktor risiko yang menyebabkan penurunan air produksi yang dihasilkan oleh IPAM tersebut. Disamping itu, penelitian juga dapat dilakukan dengan mengevaluasi besar

keefektifan upaya perbaikan yang akan dilakukan untuk mengurangi risiko yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Apsari, Mayang Nudya. 2014. **Analisis Risiko Dan Optimasi Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Ngagel I**. Surabaya : Magister Teknik Lingkungan ITS.
- Basjir, M., Supriyanto, H., dan Suef, M. 2000. **Pengembangan Model Penentuan Prioritas Perbaikan Terhadap Mode Kegagalan Komponen dengan Metodologi FMEA, FUZZY dan TOPSIS Yang Terintegrasi**. Surabaya: Magister Teknik Industri ITS.
- Carlson, S. C. 2012. **Effective FMEAs (Fundamental of FMEA)**. New York: Wiley.
- Damayanti, M. 2012. **Laporan Kerja Praktik Studi Proses Pada Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang III Kota Surabaya**. Surabaya: Teknik Lingkungan ITS.
- Droste R.L., 1997. **Theory And Practice Of Water And Wastewater Treatment**. New York USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Elly, A.R. 2007. **Kadar Sisa Chlor dan Kandungan E.Coli Air PT Dream Succes Airindo (DAS)**. Surabaya : Universitas Airlangga.
- Firdaus, R., Sukomono, T., dan Akbar, A. 2010. **Perbaikan Produksi Muffler Dengan Metode FMEA Pada Industri Kecil di Sidoarjo**. Sidoarjo: TEKNOLOGIA Vol.5
- Gasperz, Vincent. 2002. **Total Quality Management**. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Umum
- Gaspersz, V. dan A. Fontana. 2011. **Integrated Management Problem Solving Panduan bagi Praktisi Bisnis dan Industri**. Germany: Vinchristo Publication.
- Hanliang, N., Rosiawan, M., dan Sari, Y. 2013. "Peningkatan Kualitas Proses Produksi Di PT Indal Alumunium Industry TBK Sidoarjo". **Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya Vol.2 No.1**
- Ince, Margaret dan Howard, Guy. 1999. **Developing Realistic Drinking-Water Quality Standards, 25th WEDC Conference Integrated Development for Water Supply and Sanitation**. Ethiopia: Addis Abab.

- Irawan, H. 2002. **Sepuluh Prinsip Kepuasan Pelanggan**. Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- Iqbal, M., Muflikhah, I., Setiawan, Y. S. 2010. **Penggunaan Fuzzy Failure Mode And Effect Analysis Dalam Mengidentifikasi Risiko Kegagalan Proses Pemasangan Dan Perbaikan AC**. Malang: Program Studi Informatika Universitas Brawijaya
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F. 2012. **Operasi dan Proses Pengolahan Air**. Surabaya: ITS Press.
- Meidhitasari, Vidyningtyas. 2007. **Evaluasi dan Modifikasi Instalasi Pengolahan Air Minum Miniplan Dago Pakar**. Bandung: Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Narita, K., Lelono, B. dan Arifin, S. 2011. **Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Penentuan Dosis Tawas Pada Proses Koagulasi Sistem Pengolahan Air Minum**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Octavia, Lily. 2010. **Aplikasi Metode Failure Mode and Effective Analysis (FMEA) Untuk Pengendalian Kualitas Pada Proses Heat Treatment PT. Mitsuba Indonesia**. Jakarta : Universitas Mercu Buana
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010. **Persyaratan Kualitas Air Minum**. Jakarta: Menteri Kesehatan.
- Pillay, A., dan Wang, J. 2003. **Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Seasoning”, Reliability Engineering & System Safety**. 139, 379-394.
- Pitojo, S., & Purwantoyo, E. 2002. **Deteksi pencemar air minum**. Ungaran: Aneka Ilmu.
- Popel, HJ. 1974. **Aeration and Gas Transfer**. Netherlands: Delf University Of Technology.
- Qasim, S. R. 2000. **Wastewater Treatment Plants : Planning, Design and Operation**. USA : CRC Press.
- Qomaruddin. 2012. **Analisa Risiko Clearator IPAM Karang Pilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya**. Surabaya : Magister Manajemen Teknologi ITS.
- Robbins, S.P. dan Mary Coulter. 2012. **Management**. Prentice Hall : Pearson Education.

- Said, N.I. 2005. **Metode Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Penyediaan Air Minum Domestik**. *Jurnal Air Indonesia (JAI)*, 1(5) 239-250.
- Scarvada dkk., A.J., Tatiana Bouzdine-Chameeva, Susan Meyer Goldstein, Julie M. Hays, Arthur V. Hill. 2004. **A Review of the Causal Mapping Practice and Research Literature**. Second World Conference on POM and 15th Annual POM Conference, Cancun, Mexico, April 30 – May 3, 2004.
- Schultz, Christopher R dan Daniel A Okun.1984. **Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries**. New York, USA : John Willey & Sons Inc.
- Sellapan, E. U. dan Astuti, D. A. 2012. **Aplikasi Six Sigma pada Pengujian Kualitas Produk di UKM Keripik Apel Tinjauan dari Aspek Proses**. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12(1):3-5.
- Slamet. 1996. **Pengantar Pengolahan Air Program Studi Teknik Lingkungan**. Bandung : Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Soesanti, Sri S. 1996. **Senyawa Organik Dalam Air Minum**. Media Litbangkes Vol. VI No.01.
- Suriawira, U. 1996. **Air dalam kehidupan dan lingkungan yang sehat**. Bandung: Alumni Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Sutrisno, Totok C. 2004. **Teknologi Penyediaan Air Bersih**. Jakarta: Rineka Cipta.
- Yulianti, Pradita Cancerita. 2012. **Studi Literatur Desain Unit Prasedimentasi Instalasi Pengolahan Air Minum. Surabaya** : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Widyaningsih, H.A dan Syafei, A.D. 2011. **Resirkulasi Flok Untuk Kekeruhan Rendah Pada Kali Pelayaran Sidoarjo Dengan Sistem Batch**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri Sidoarjo yang lahir pada 22 tahun yang lalu. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2000-2006 di SDN Tropodo 1 Sidoarjo. Kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Waru pada tahun 2006-2009, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 1 Sidoarjo dari tahun 2009-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3312100036.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan di jurusan maupun fakultas dan aktif sebagai asisten praktikum. Selain itu, beberapa kegiatan sosial di luar kampus penulis ikuti. Penulis pernah menjabat sebagai Sekertaris Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS 2014/2015. Berbagai pelatihan dan seminar di bidang Teknik Lingkungan telah banyak diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email nadiafitrianti18@gmail.com.